

Juho Taskila

**KIVIHIILISEOKSEN RAEKOKOJAKAUMAN JA KOSTEUDEN ANALYSOINNIN
JA NÄYTTEENOTON KEHITTÄMINEN SEKÄ AUTOMATISOINTI**

KIVIHIILISEOKSEN RAEKOKOJAKAUMAN JA KOSTEUDEN ANALYSOINNIN JA NÄYTTEENOTON KEHITTÄMINEN SEKÄ AUTOMATISOINTI

Juho Taskila

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Kone- ja tuotantotekniikka

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Raahessa vuoden 2013 kevään aikana Rautaruukki Oyj:n Raahen terästehtaan koksamolaitokselle. Työn ohjaavana opettajana Oulun seudun ammattikorkeakoulun Raahen tekniikan ja talouden kampukselta toimi lehtori Matti Broström. Työn ohjaajana koksamolaitokselta toimi kehitysinsinööri Pekka Myllymäki.

Raahessa 14.5.2013

Juho Taskila

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Raahen tekniikan ja talouden kampus, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Taskila Juho Matti

Opinnäytetyön nimi: Kivihiiliseoksen raekokojakauman ja kosteuden analysoinnin ja näytteenoton kehittäminen sekä automatisointi.

Työn ohjaajat: Broström Matti, Myllymäki Pekka

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013

Sivumäärä: 79 + 3 liitettä

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Ruukki Metals Oy:n Raahen terästehtaan koksaamolaitos. Työn tavoitteena oli tehdä esiselvitys kivihiiliseoksen raekokojakauman ja kosteuden analysointia ja näytteenoton kehittämistä sekä automatisointia varten.

Työ aloitettiin selvittämällä kivihiiliseosnäytteen analysoinnin automatisoinnin tarve. Automatisoinnille oli selkeä tarve, koska nykyinen manuaalinen näytteenanalysointi ei anna edustavaa kuvaa tuotannosta. Työn toteuttamisessa käytettiin hyväksi alan kirjallisuutta, teollisuusrobottivalmistajien tietoja ja verkkolähteitä.

Tulokseksi saatiin kivihiiliseosnäytteen analysointiin sopivin teollisuusrobottirakenne. Työssä tutkittiin teoriassa teollisuusrobotille sopivinta tarttujaa yhdessä näyteastioiden kanssa näytteenanalysointia varten. Oheislaitteiden osalta selvitettiin nykyisten oheislaitteiden yhteensopivuutta robottijärjestelmään. Tämän pohjalta tehtiin parannusehdotuksia oheislaitteiden rakenteen ja toiminnan kannalta ajatellen robottijärjestelmää. Tiedonsiirtoliittymistä ja ohjelmoinnista on esitetty peruseriaatteet ja ratkaisut. Työssä käytiin myös läpi robottijärjestelmään liittyvää lainsäädäntöä sekä turvatoimia. Tätä opinnäytetyötä voidaan hyödyntää suunniteltaessa tarkemmin kivihiiliseosnäytteen analysoinnin automatisointia robottijärjestelmällä.

Asiasanat:

Koksaamo, kivihiiliseos, analysointi, näytteenotto, teollisuusrobotti, robottijärjestelmä, automatisointi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Taskila Juho Matti

Title of thesis: Particle Size Distribution and Moisture Analysis of Coal Mixture to Develop Sampling and its Automation.

Supervisors: Broström Matti, Myllymäki Pekka

Term and year of completion: Spring 2013

Number of pages: 79 + 3 appendices

This Bachelor's thesis was commissioned by Ruukki Metal's coking plant. The objective of the thesis was to make a preliminary study about a particle size distribution and moisture analysis of coal mixture as well as to develop sampling and its automation.

The work was started by finding out the need of automation for coal sample analysis. There was a clear need for automation because the current manual analysis does not represent the factual production. The materials used for making this thesis were literature about industry, data sheets of industrial robot manufacturers and various websites related to the subject.

As a result of the thesis, the most appropriate industrial robot structure for coal sample analysis was found. For the sample analysis different robot grippers were examined together with sample containers. The compatibility of current peripheral devices was examined for the robotic system. On basis of this examination, proposals concerning the structure and functionality of peripheral devices were made. Concerning the data transfer interfaces and programming, the basic principles and concepts are presented. Also, the legislation related to robotic systems and safety aspect were considered. This Bachelor's thesis can be utilized when designing the automation of the coal sample analysis with the industrial robotic system.

Keywords:

Coking plant, coal mixture, analysis, sampling, industrial robot, robotic system, automation

SISÄLLYS

ALKULAUSE	1
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	7
2 RAUTARUUKKI OYJ	8
2.1 Historiaa	8
2.2 Rautaruukki Raahen terästehdas	9
2.3 Koksaamo	10
2.3.1 Koksausprosessi	12
2.3.2 Hiilitorni	13
3 MÄÄRITELMÄ	14
4 HIILITORNIN TOIMINTAYMPÄRISTÖ	15
4.1 Näytteenoton tarkoitus	15
4.2 Kivihiiliseoksen näytteenotto	15
4.3 Näytteenoton ongelmat	16
5 TEOLLISUUSROBOTIT	18
5.1 Robottien määritelmiä	18
5.2 Robottien historiasta	18
5.3 Käyttö ja käyttökohteita	19
6 ROBOTIIKKA	20
6.1 Rakenteiden jaottelu	20
6.1.1 Suorakulmainen robotti	20
6.1.2 Sylinterirobotti	20
6.1.3 Napakoordinaatisto robotti	21
6.1.4 SCARA-robotti	21
6.1.5 Kiertävänivelinen robotti	22
6.1.6 Rinnakkaisrakenteinen robotti	23
6.2 Robotin ohjausjärjestelmät	24
7 ROBOTIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	25
7.1 Nykyinen tilanne	25
7.2 Analysoinnin automatisoinnin perusteet	25

7.3 Robottijärjestelmän toteuttamisen vaihtoehdot	26
8 TARTTUJA	28
8.1 Robottitarraimet ja työkalut	28
8.1.1 Mekaaninen tarrain	29
8.1.2 Imutarraimet	29
8.1.3 Magneettitarrain	29
8.1.4 Erikoistarraimet	30
8.1.5 Vakiotarraimet	30
8.2 Tarraimen suunnittelu	31
8.2.1 Tartunta	32
8.2.2 Mekaaninen rakenne	32
8.2.3 Toimilaitteet	33
8.2.4 Anturit	33
8.2.5 Tarraimen turvallisuus	34
9 OHEISLAITTEET	35
9.1 Sijoittelu ja sijoittelun kriteerit	35
9.2 Yleiset kriteerit oheislaitteiden valinnalle	35
10 TIEDONSIIRTOLIITYNNÄT	37
10.1 Yleistä	37
10.2 Tiedonsiirtotiet	37
10.3 Tiedonsiirron ohjelmistot	37
10.4 Tiedonsiirtoprotokollat	38
11 ROBOTTIEN OHJELMOINTI	39
11.1 Johdattamalla ohjelmointi	39
11.2 Opettamalla ohjelmointi	40
11.3 Etäohjelmointi	41
11.4 Suunnittelu ja layout	42
12 HUOLTO JA KUNNOSSAPITO	43
12.1 Huoltotoiminnan lajeja	43
12.2 Huolto ja huoltokohteet	44
13 TURVALLISUUS	46
13.1 Konelaki (1016/2004)	47
13.2 Konedirektiivi (2006/42/EY)	47

13.3 Muut koneita koskevat direktiivit	48
13.4 Turvatoiminnot	49
13.5 Ohjausjärjestelmä	49
13.5.1 Ohjausjärjestelmän rakenne	50
13.5.2 Ohjausjärjestelmän tiedonsiirto	51
13.5.3 Koneen toimilaitteet	52
13.5.4 Koneiden ohjauksen tiedonsiirto	52
13.6 Robotin käynnistyminen ja pysähtyminen	54
13.6.1 Käynnistyminen	54
13.6.2 Pysähtyminen	55
13.7 Työalueen eristäminen	56
14 NÄYTTEEN ANALYSOINNIN AUTOMATISOINTI	57
14.1 Alkuseelvitys	57
14.2 Robotin rakennevaihtoehdot	57
14.2.1 SCARA-robotti	58
14.2.2 Kiertyvänivelinen robotti	60
14.3 Robottivalmistajien vaihtoehdot	61
14.3.1 ABB	62
14.3.2 KUKA Robotics	63
14.3.3 Motoman	65
14.4 Tarrainvaihtoehdot	65
14.4.1 Gimatic	66
14.4.2 Fipa	68
14.5 Näyteastiat	70
14.6 Oheislaitteet	71
14.6.1 Kuivausuuni	71
14.6.2 Seulasarja	72
14.6.3 Vaaka	73
14.6 Tiedonsiirtoliitynnät	74
14.7 Ohjelmointi	74
YHTEENVETO	76
LÄHTEET	77
LIITE 1	80

1 JOHDANTO

Kivihiiliseoksen raekokojakauma ja sen muutokset sekä kosteus vaikuttavat koksautusprosessin hallintaan ja siitä saatavan koksen laatuun. Raekokojakaumaan voidaan vaikuttaa seosreseptiin valittavilla kivihiililaaduilla sekä säätämällä kivihiilimurskauksen tehoa. Kivihiililaatujen valintaan ja seosreseptiin vaikuttaa voimakkaasti moni muukin huomioon otettava asia lähtien aina raaka-ainevalinnoista, seoksen koksautuvuusominaisuuksista ja halutusta koksen laadusta.

Raekokojakauman ja kosteuden analysointiin vaadittava kivihiiliseosnäyte otetaan manuaalisesti hiilitorniin ajettavasta kivihiiliseoksesta kerran työvuorossa eli kolme kertaa vuorokaudessa. Analyysitulosten perusteella säädetään kivihiilimurskauksen tehoa tarvittaessa. Muutokset raekokojakaumassa ja kosteudessa aiheuttavat säätötarvetta koksipattereiden energiansyötössä, koska tavoitteena on syöttää kivihiilen koksautumiseen vaadittava energiamäärä tavoitekoksausajan aikana ja pitää loppulämpötila tavoitteessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia selvitys kivihiiliseoksen raekokojakauman ja kosteuden analysoinnin ja näytteenoton kehittämisestä ja automatisoinnista. Selvityksen pohjalta käynnistetään myöhemmin tarkentavat suunnittelut ja laitevalinnat sekä -hankinnat. Näytteenotosta tulisi saada edustava. Analyysituloksia tulisi saada huomattavasti tiheämpään sekä näytteenoton, että analysoinnin tulisi tapahtua aina samalla tavalla muuttamatta analysointimenetelmää radikaalisti.

2 RAUTARUUKKI OYJ

Rautaruukki Oyj toimittaa metalliin perustuvia komponentteja, järjestelmiä ja kokonaisuuksia rakentamiseen ja konepajateollisuuteen. Yhtiöllä on toimintaa noin 30 maassa, ja se työllistää tällä hetkellä noin 9 000 työntekijää. Toimitusjohtajana vuodesta 2004 lähtien on toiminut Sakari Tamminen. Liikevaihto vuonna 2012 oli noin 2 796 miljardia euroa. Osake on noteerattu NASDAQ QMX Helsingissä. Yhtiö käyttää markkinointinimeä Ruukki. Konserni on jaettu kolmeen osa-alueeseen: Ruukki Construction, Ruukki Engineering ja Ruukki Metals. (Rautaruukki Oyj. 2013, hakupäivä 10.4.2013.)

Ruukki Construction toimittaa elinkaari- ja energiatehokkaita teräsrakenneratkaisuja liike-, toimitila- ja teollisuusrakentamiseen, pientaloihin sekä satama- ja väylärakentamiseen. Ruukki Constructionin palveluksessa on yhteensä noin 3 300 henkilöä. Ruukki Engineeringin ja Komasin yksiköiden yhdistymisen seurauksena syntynyt Fortaco-nimisen yhtiöjärjestelyn myötä Ruukki keskittyy jatkossa rakentamiseen ja erikoisteräsluokkien toimintaan. Ruukki Metals tarjoaa asiakkailleen kuuma- ja kylmävalssattuja terästuotteita sekä erikoisterästuotteita kuten erikoislujuja rakenneteräksiä, kulutusta kestäviä teräksiä ja erikoispinnoitettuja teräksiä. Toiminnan vastuulla on myös esikäsittely-, logistiikka- ja varastointipalvelut. Ruukki Metalsin palveluksessa on yhteensä noin 5 200 henkilöä. (Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä, hakupäivä 24.1.2013.)

2.1 Historiaa

Rautaruukki Oyj perustettiin vuonna 1960, jolloin alkoi myös terästehtaan rakentaminen Raahen. Perustuotanto käynnistyi vuonna 1964, ja teräksen tuotanto sekä kuumavalssattujen levyjen linjatuotanto aloitti toimintansa vuonna 1967. Vuosikymmenen loppuun mennessä henkilöstömäärä oli yli 1 700 henkeä. (Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä, hakupäivä 24.1.2013.)

1970-luvulla Rautaruukki keskittyi tuotannon jatkojalostukseen ja pyrki monipuolistamaan toimintaansa. Tuotantoa laajennettiin ohutlevy- ja putkituotantoon ja Hämeenlinnassa aloitettiin kylmävalssaus ja putkituotanto. Toinen masuuni käynnistettiin Raahessa vuonna 1976, ja se kaksinkertaisti terästehtaan raudantuotannon. Uudistuksien johdosta henkilöstömäärä 1970-luvun lopussa oli jo yli 7 000 henkeä. (Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä, hakupäivä 24.1.2013.)

1980-luvulla yhtiö laajeni Länsi-Eurooppaan jonne se perusti myyntiyhtiöitä ja teki yritysostoja mm. Tanskasta, Norjasta ja Saksasta. Vuosikymmenen lopulla yhtiön henkilöstömäärä oli noin 10 000 henkeä. (Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä, hakupäivä 24.1.2013.)

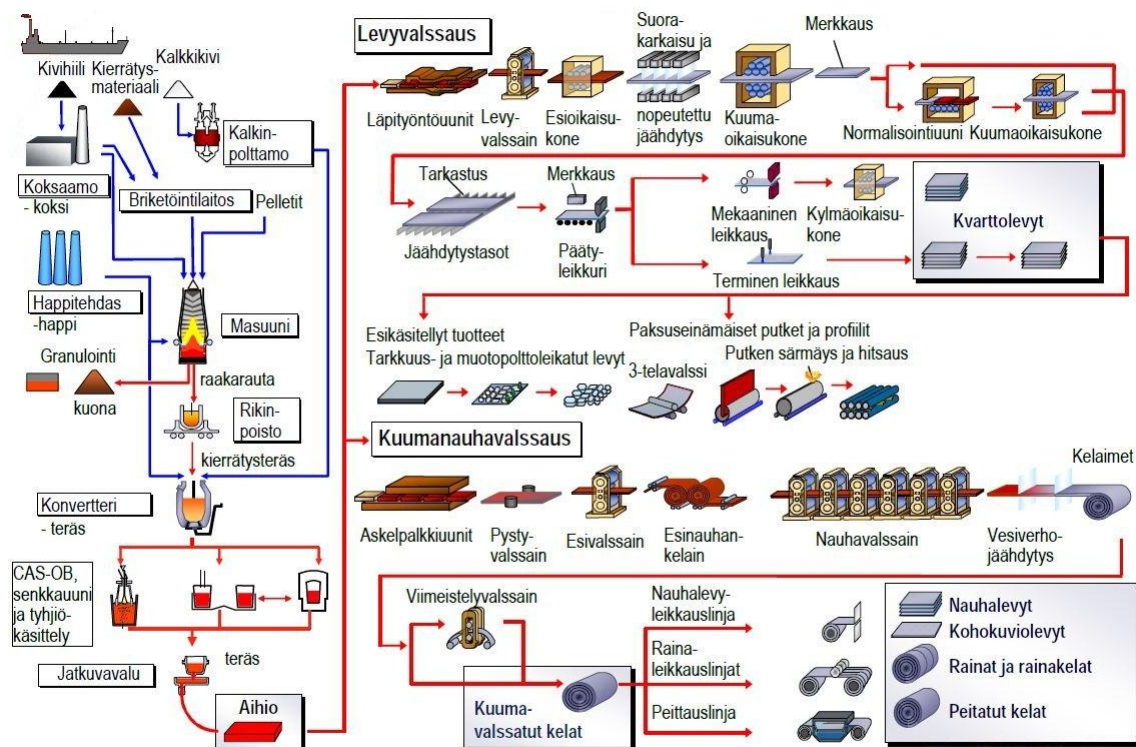
1990-luvulla Ruukki investoi tuotannon jalostusasteen nostamiseen ja ryhtyi kehittämään omia merkkituotteitaan. 1990-luvun alussa kattovalmistajan Rannilan yritysoston myötä yhtiö alkoi myös keskittyä rakentamiseen. Tälle vuosikymmenelle ominaisinta oli yhtiön voimakas kansainvälistyminen, kun liiketoiminta laajeni Itä-Eurooppaan mm. Baltiaan, Puolaan ja hieman myöhemmin myös Venäjälle, Tšekkeihin ja Unkariin. 1990-luvun lopussa Rautaruukki työllisti jo yli 12 000 henkeä, joista noin 5 000 Euroopan eri maissa. (Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä, hakupäivä 24.1.2013.)

2000-luvulla yhtiö alkoi panostaa vahvasti rakentamiseen ja konepajateollisuuteen. Teräsliiketoiminnassa painopisteeksi valittiin erikoisterästuotteet. Vuonna 2004 kaikki Rautaruukki-konserniin kuuluvat yhtiöt ottivat käyttöön markkinointinimen Ruukki. (Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä, hakupäivä 24.1.2013.)

2010-luvulla Ruukin strategia keskittyy rakentamiseen erikoisteräsliiketoiminnan kehittämiseen. Rakentamisen liiketoiminnassa painopisteenä on kattoliiketoiminnan kasvattaminen Venäjällä. Teräsliiketoiminnan painopiste on entistä enemmän erikoisteräksissä. (Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä, hakupäivä 24.1.2013.)

2.2 Rautaruukki Raahen terästehdas

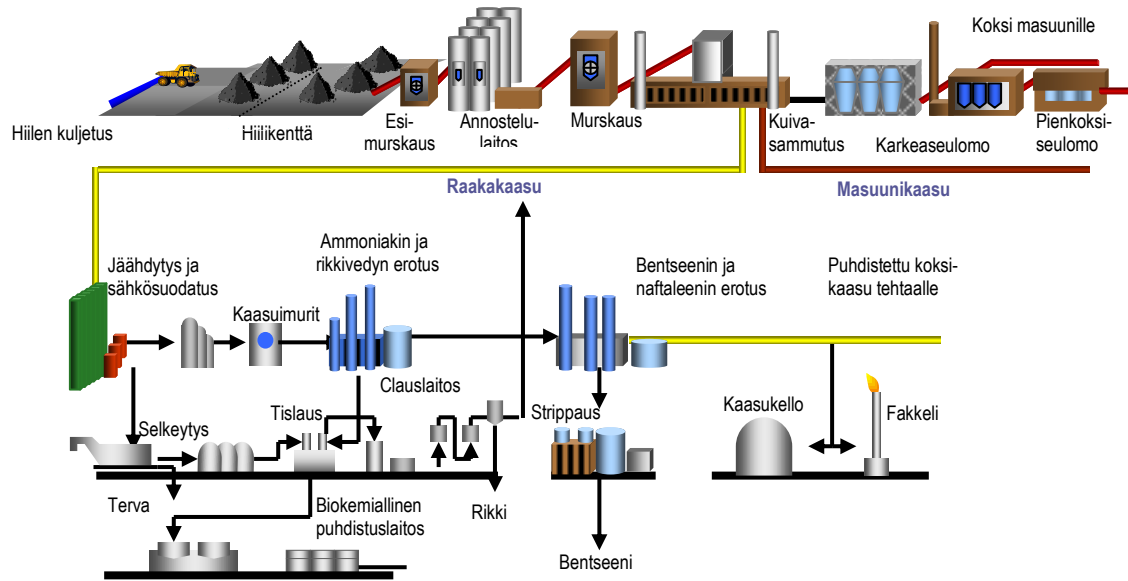
Raahen terästehtaan rakentaminen aloitettiin kesällä 1961 ja perustuotanto käynnistyi vuonna 1964 yhden masuunin voimin. Kun terässulatto ja valssaamo valmistuivat kolme vuotta myöhemmin, aloitettiin teräksen ja kuumavalssattujen tuotteiden tuotanto. Rautaruukin Raahen terästehdas työllistää noin 2400 työntekijää. Terästä tuotetaan vuodessa noin 2,8 miljoonaa tonnia. Tehdas jakautuu rauta- ja terästuotantoon, jotka yhdessä jalostavat raaka-aineista tuotteita, jotka kattavat teräksset standarditeräksistä vaativiin erikoisteräksiin. Kuvassa 1 on esitetty Raahen terästehtaan tuotannon prosessikaavio lähtien raudanvalmistuksesta valmiisiin terästuotteisiin. (Ruukki Metals 2011.)



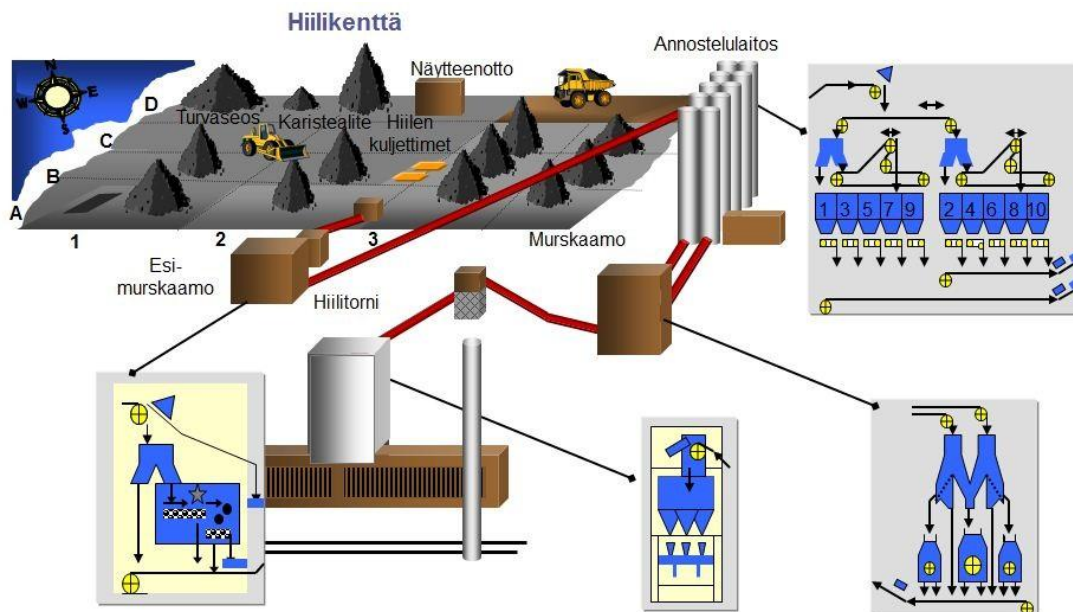
KUVA 1. Raahen terästehtaan prosessikaavio (Ruukki Metals, Raahen terästehdas).

2.3 Koksaamo

Rautaruukin Raahen terästehtaalalla sijaitsee Suomen ainoa koksaamolaitos, jossa valmistetaan koksia kivihiilestä kuivatislaamalla. Koksia käytetään Raahen terästehtaan masuunien polttoaineena raudanvalmistuksessa. Kaikki valmistettava koksi käytetään Raahessa. Koksauksessa kivihiiltä kuumennetaan koksiuunissa ilmattomassa tilassa, jossa haihtuvat ainesosat poistuvat ja kivihiili saa lujan kappalemuodon mitä kutsutaan koksiksi.



KUVA 2. Koksauksen prosessikaavio (Ruukki Metals 2007).



KUVA 3. Kivihiihenkäsittely (Ruukki Metals 2007).

2.3.1 Koksausprosessi

Raahen terästehtaan koksamolaitoksen koksausprosessi käytettävä kivihiili tuodaan meriteitse, pääasiallisesti Kanadasta, Yhdysvalloista ja Australiasta. Vuosittainen kivihiilen kulutus on noin 1,3 miljoonaa tonnia. (Ruukki Metals 2007.)

Laivasta purettu kivihiili kuljetetaan kuorma-autoilla koksamolaitoksen vieressä sijaitsevalle hiilikentälle, jossa kullekin kivihiililaadulle on oma kasansa. Hiilikentältä kivihiili kuljetetaan hihnakuljetinta pitkin esimurskaamolle, jossa siitä erotellaan kaikki ei-toivotut partikkelit ja kivihiili murskataan hienompaan muotoon. Seuraavaksi kivihiili ajetaan annostelulaitoksella kymmeneen laatukohtaiseen siiloon. Siiloista annostellaan seosreseptin vaatima määrä kutakin kivihiililaatua kuljetinhihnalle, joka kuljettaa kivihiilen edelleen murskaamolle. Kivihiili murskataan koksaukseen parhaiten sopivaan raekokoon. Murskattu kivihiili siirretään koksipatterilla sijaitsevaan hiilitorniin. (Ruukki Metals 2007.)

Hiilitorni on jaettu kahteen lohkoon. Kummankin lohkon tilavuus on noin 950 tonnia. Tornissa on neljä hiilenottopistettä, kaksi kummassakin lohossa. Panostusvaunu ottaa yleensä vuorotellen kummastakin lohosta kivihiiliseosta ja syöttää kivihiiliseoksen ruuvisyöttimillä panostusaukkojen kautta uuniin. Hiiltä syötetään jokaiseen uuniin noin 34 tonnia. Koksipatterin eteläpuolella liikkuva työntövaunu tasoittaa uuniin panostetun kivihiiliseoksen pinnan tasaiseksi, jolloin koksi kypsyy paremmin ja on myös helpommin purettavissa uunista. Koksiuunit puretaan ja panostetaan tarkan aikataulun mukaisesti. Koksausprosessi on jatkuva prosessi eikä sitä juurikaan voida keskeyttää. (Ruukki Metals 2007.)

Koksiuunien lämpötila on noin 1 100 °C. Uunien väleissä on lämmityseinämät, joiden hormoneissa poltetaan lämmityskaasua millä ylläpidetään haluttua lämpötilaa uuneissa. Uuneja purettaessa koksipatterin eteläisellä sivulla oleva työntövaunu työntää uunissa olevan koksipatjan patterin pohjoisella sivulla olevan ovenirroituskoneen koksikorin läpi koksikuupaan. Sähköveturi kuljettaa kyydissä olevan koksikuupan kuivasammutuslaitokselle, jossa uunista saatu koksi jäähdytetään. Purkamisen jälkeen uuni suljetaan ja voidaan panostaa uudelleen. (Ruukki Metals 2007.)

2.3.2 Hiilitorni

Koksipattereiden välissä sijaitseva hiilitorni toimii puskurivarastona koksausprosessissa käytettävälle kivihiiliseokselle. Koksausprosessi on jatkuvaa eikä sitä voida keskeyttää. Tästä syystä koksamolla on oltava hiilitorni. Kahteen lohkoon jaettu hiilitorni vetää kivihiiltä noin 1 900 tonnia. Kunnossapitotöiden tai odottamattoman häiriön sattuessa tällä määrällä kivihiiltä voidaan koksausprosessia jatkaa noin 8 tuntia. Kivihiiliseos kuljetetaan annostelulaitokselta H40-hihnakuuljettimella hiilitorniin, jossa se jaetaan hiilitornissa haluttuun lohkoon.

3 MÄÄRITELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia selvitys kivihiiliseoksen raekokojakauman ja kosteuden analysoinnin ja näytteenoton kehittamisestä ja automatisoinnista. Työssä ei ole tarkoitus muuttaa nykyistä analysointimenetelmää radikaalisti, mutta näytteenotosta olisi tarkoitus saada edustava. Tämän vuoksi työssä tutkitaan myös nykyistä näytteenottomenetelmää ja siihen liittyviä ongelmia.

Näytteenotosta saatavia analyysituloksia tulisi saada nykyistä tiheämpään sekä näytteenoton ja analysoinnin tulisi tapahtua aina samalla tavalla. Tämän vuoksi työssä selvitetään mahdollisuuksia korvata ihmisen tekemät toimenpiteet määräkokoan ositetun näytteen käsittelyssä teollisuusrobotilla tai nivelrobotilla. Lisäksi tarkoitus on selvittää, millaisia vaihtoehtoja roboteille on eri valmistajilla.

Työn keskeisenä tarkoituksena on määritellä tehtävään soveltuva robottityyppi, huomioon otettavat turvallisuusstandardit sekä mahdolliset muutokset nykyisille näyteastioille, seulontavälineille ja uunitypeille. Lisäksi tulisi huomioida laitteiston mekaaniset ja geometriset vaatimukset sekä toimintaympäristön rakennevaihtoehdot. Edelleen tulisi määritellä tarvittavat rajapinnat ohjauksiin, kommunikointiin ja tiedonsiirtoon.

4 HIILITORNIN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

4.1 Näytteenoton tarkoitus

Metallurginen koksi masuuniprosessia varten valmistetaan kivihiiliseoksesta, joka on yleensä viidestä tai kuudesta kivihiililaadusta valmistettu seos. Kolme kertaa vuorokaudessa otettavasta näytteestä analysoidaan keskimääräinen raekoko ja kosteusarvo. Raekokojakauma pyritään säätämään murskaamalla siten, että keskimääräinen raekoko on 2,4 - 2,5 mm. Kosteuden tavoitearvona on pidetty 8 %, mutta valtaosan vuodesta kosteus on tätä korkeampi. Analyysitulosten perusteella säädetään tarvittaessa kivihiilimurskauksen tehoa sekä koksipattereihin syötettävän energian määrää. (Myllymäki kevät 2013, haastattelu.)

4.2 Kivihiiliseoksen näytteenotto

Raekokojakauma ja kosteus analysoidaan hiilitorniin ajettavasta kivihiiliseoksesta kerran työvuoron aikana eli käytännössä kolme kertaa vuorokaudessa. Kivihiiliseosnäyte otetaan manuaalisesti kertaluontoisesti kivihiiliseosta hiilitorniin kuljettavan hihnakuljettimen H40 purkauspäästä, jossa se purkautuu hiilitorniin nopeudella 250 - 300 t/h. (Myllymäki kevät 2013, haastattelu.)

Hihnakuljettimen purkauspäästä purkautuvan kivihiiliseospatjan läpi massavirran suuntaisesti kulkee tasaisin väliajoin kauha, joka ottaa ja kuljettaa kivihiiliseoksesta saadun näytteen näytteenottajan asettamalle näyteastialle. Näytettä kahtioidaan manuaalisella kahtiointilaitteella (kuva 4), kunnes näytteen koko on n. 1 000 g. Tämän jälkeen näyte punnitaan ja siitä saadaan tarkka paino, minkä jälkeen näytettä kuivataan uunissa n. 2 tuntia 110 - 120 celsiusasteessa. Kuivauksen jälkeen näyte punnitaan uudelleen, jolloin saadaan näytteen kosteus. Kuivattu näyte seulotaan kuuteen fraktioon jaetulla seulasarjalla, minkä jälkeen kunkin fraktion massa punnitaan. Analyysistä saadut tulokset syötetään koksaamon level2-järjestelmään, jossa tapahtuu mm. keskimääräisen raekoon laskeminen. (Myllymäki kevät 2013, haastattelu.)



KUVA 4. Näytteen manuaalinen kahtiointilaite

4.3 Näytteenoton ongelmat

Nykyisellä näytteenottomenetelmällä ei saada edustavaa näytettä kivihiiliseospatjan koko poikkileikkausprofiilista. On syytä olettaa materiaalin olevan jossain määrin lajittunutta niin materiaalipatjan korkeus- kuin leveyssuunnassakin. Hienorakeisempi materiaali painautuu kuljetinhihnalla seospatjan pohjalle, ja karkearakeisempi jää puolestaan seospatjan pinnalla sekä reunoille (kuva 5). Kivihiiliseos on epähomogeenista myös ajan funktiona, joten kertaluontoinen näytteenotto ei kuvasta koko vuoron aikaista tuotantoa. Kivihiiliseoksen näytteenottomenetelmä ei ole tällöin standardit täyttävä eikä saatava näyte ole edustava paikan eikä myöskään ajan funktiona.



KUVA 5. Kivihiiliseoksen lajittuminen hihnakuljettimella (FINAS S51/2000, hakupäivä 25.2.2013).

Näytteenotto- ja analysointioperaatio sitoo lisäksi tuotannon vuorohenkilöstön resursseja, ja itsessään operaation suorittamiseen sisältyy monia mahdollisuuksia inhimillisen virheen tekemiseen, esimerkiksi kahtiointiin ja punnitsemiseen. Lisäksi näytteenoton suorittajien tavoissa toimia on eroavaisuuksia. Seulasarjalla seulomisen jälkeen seulan fraktioiden puhdistus suorittajasta riippuen on erilaista. Osassa tapauksissa seulasarjan fraktioihin jää edellisen näytteen jäämiä huomattavasti enemmän, mikä vaikuttaa seuraavan näytteen analysoinnin tulokseen. (Myllymäki kevät 2013, haastattelu.)

5 TEOLLISUUSROBOTIT

Teollisuusrobotti on tietokoneohjattu työkappaleita tai työvälineitä käsittelevä yleiskäyttöinen kone. Yleiskäyttöisyys tarkoittaa sitä, että robotti voidaan aina uudelleen ohjelmoida, jolloin sitä voidaan käyttää useisiin eri käyttötarkoituksiin. Robotin liikkeet voidaan tuottaa sähköisten, pneumaattisten tai hydraulisten toimilaitteiden avulla. Robotiikka puolestaan tarkoittaa oppia robottien suunnittelemisesta, rakentamisesta ja käytöstä. (Teollisuusrobotti, artikkeli, hakupäivä 18.3.2013.)

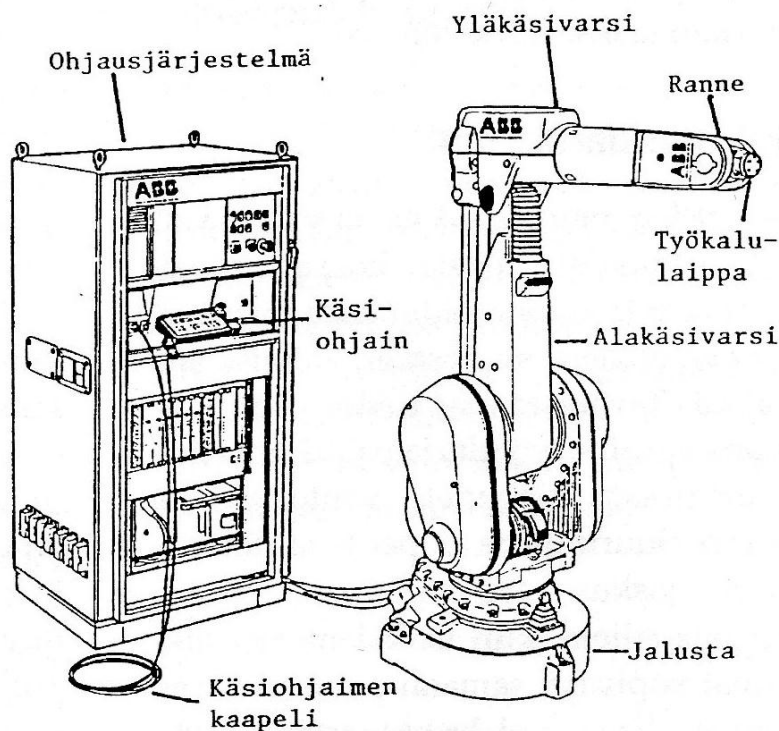
5.1 Robottien määritelmiä

Ohjausteknisesti teollisuusroboteissa on oleellista liikeakselien aseman mittausta ja takaisinkytkentä eli servo-ohjaus. Robotiksi luokiteltavalta laitteelta vaaditaan vähintään kolme vapaasti ohjelmoitavaa liikeakselia ja vähintään yhtä työkalua. Robotti on standardin SFS-EN 775 mukaan,

- automaattisesti ohjattu,
- uudelleenohjelmoitava,
- monikäyttöinen käsittelylaite,
- useita vapausasteita sisältävä,
- kiinteästi paikalleen tai liikkuvaksi asennettu.

5.2 Robottien historiasta

Teollisuusrobotteja alettiin kehittää 1960-luvulla Yhdysvalloissa. Pioneeriyrityksenä toimi Unimation. 1970-luvulle tultaessa ja sen puolivälin jälkeen tulivat markkinoille ASEA (nykyisin ABB) ja japanilaiset yritykset sähköisillä roboteilla. 1990-luvulla nivelrobottikäsivarret kehittyivät teknisesti, niihin tuli muun muassa vaihtovirtaservot. Tämän jälkeen robottien valmistuksessa on yritetty saada massatuotannon etuja käyttämällä robotteja myös robottien valmistuksessa. Tämän seurauksena robottien hinnat ovatkin puolittuneet 2000-luvulle tultaessa. Nykyisin maailmassa on reilu miljoona teollisuusrobotia. (IFR 2012, hakupäivä 18.3.2013.)



KUVA 6. Teollisuusrobotti ja sen tavallisimmat komponentit (Kuivanen 1999, 13).

5.3 Käyttö ja käyttökohteita

Robottien perustana on uudelleen ohjelmitavuus. Kun tuotanto muuttuu, voidaan robotin liikkeet uudelleen ohjelmoida vastaamaan sen uutta käyttötarkoitusta. Tästä johtuen roboteista käytetään usein termiä joustava automaatio. Roboteissa on myös rakenteellista joustavuutta, sillä robottikäsivartta, jota on käytetty koneenpalvelussa, voidaan uudelleen käyttää esimerkiksi hitsauksessa.

Teollisuusrobotteja käytetään muun muassa metalli-, muovi-, ja elintarviketeollisuudessa. Suomen Robottiikkayhdistyksen mukaan Suomessa oli vuoden 2007 lopussa käytössä noin 6 000 teollisuusrobottia, pääasiassa kappaleenkäsittelyssä, hitsauksessa ja kokoonpanotehtävissä. Suhteellisesti ottaen Suomi on maailman kuudenneksi robotisoitunein teollisuusmaa, kun suhdelukuna on robottimäärä 10 000 teollisuuden työntekijää kohden.

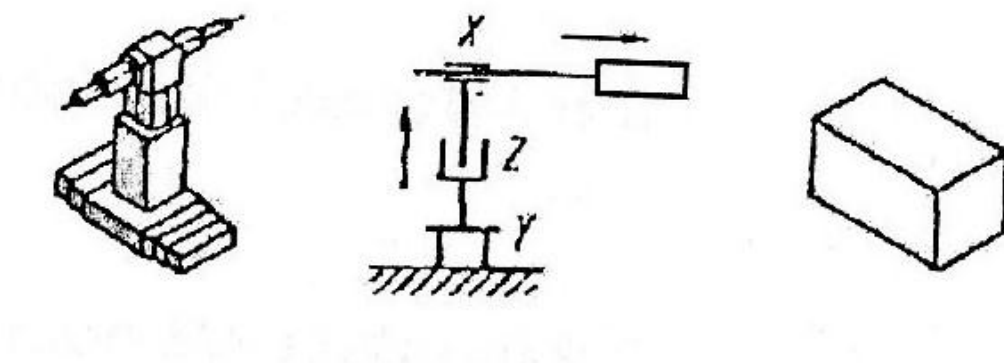
6 ROBOTIIKKA

6.1 Rakenteiden jaottelu

Mekaniikkansa suhteen teollisuusrobotit voidaan jakaa nivelroboteihin ja lineaarisesti liikkuviin, eli portaaliroboteihin. ISO 8373 -standardin tarkemman lajittelun mukaan perusrakenteita on useampia. (Teollisuusrobotti, artikkeli, hakupäivä 18.3.2013.)

6.1.1 Suorakulmainen robotti

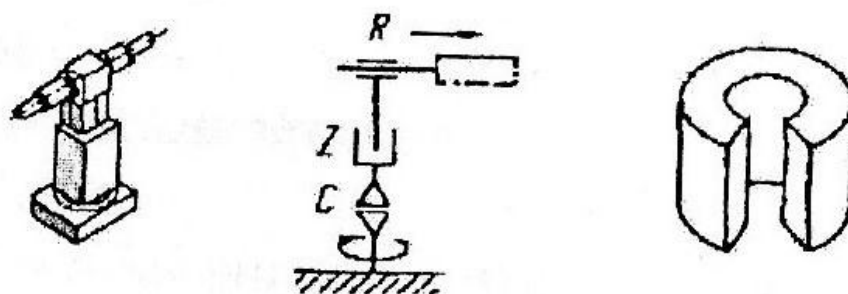
Portaalirobotti (kuva 7) on lineaariliikkeillä toteutettu robotti. Kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia. Tyypillisintä edustajaa kutsutaan portaalirobotiksi, jolloin robotti on tuettu sen työalueen nurkista palkeilla. Tavallisimmin portaalirobotteja käytetään erilaisissa logistiikan automaatiosovelluksissa. (Kuivanen 1999, 12; Teollisuusrobotti, artikkeli, hakupäivä 18.3.2013.)



KUVA 7. Suorakulmainen robotti; rakenne, kinemaattinen kaavio ja työalue (Kuivanen 1999, 12).

6.1.2 Sylinterirobotti

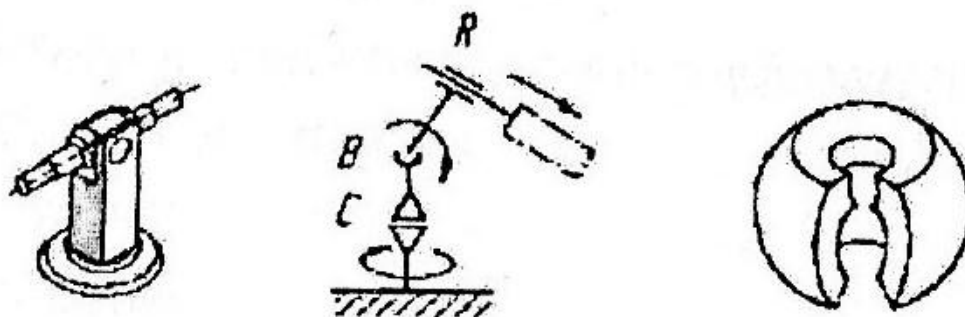
Yksi pyörivä akseli kääntää koko rakennetta, muuten liikkeet ovat lineaarisia, yyyppillinen manipulaattoriratkaisu. Sylinterirobotin nimi tulee sen koordinaatiojärjestelmästä ja työalueen sylinterimäisestä muodosta. Sylinterirobotteja käytetään yleisesti erilaisissa pakkaus- ja lajittelusovelluksissa.



KUVA 8. Sylinterirobotti (Kuivanen, R. 1999, 12).

6.1.3 Napakoordinaatisto robotti

Napakoordinaatisto robotissa on koko rakennetta kääntävä akseli sekä käsivartta pystysuunnassa kääntävä akseli muiden akselien ollessa lineaarisia. Sen työskentelytilan voidaan katsoa olevan täysin pyöreä ja todellisuudessa sen on vaikea päästä joka paikkaan. Tällaista rakennetta käytetään pistehitsauksessa, kaasu- ja kaarihitsauksessa, ruiskuvalutöissä sekä työstökoneiden palvelutehtävissä. (Teollisuusrobotti, artikkeli, hakupäivä 18.3.2013.)

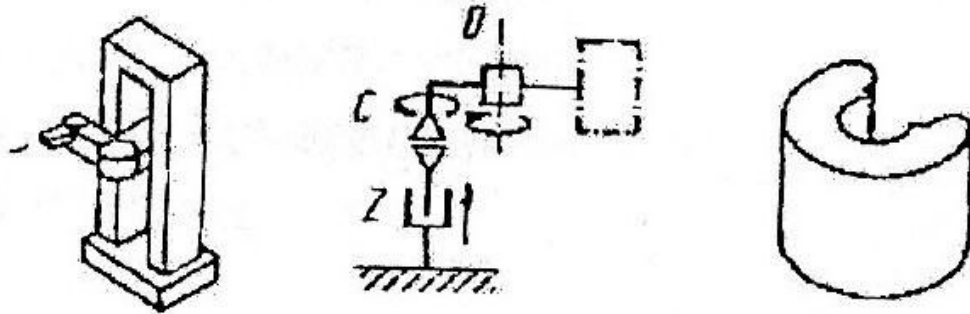


KUVA 9. Napakoordinaatisto robotti (Kuivanen 1999, 12).

6.1.4 SCARA-robotti

SCARA-robotin (Selective Compliance Assembly Robot Arm; tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsivarsi) nivelet ovat vaakatasossa ja pystysuuntainen liike on lineaarinen. SCARA-roboteilla on yleensä vain neljä vapausastetta. Kolmella kiertyvällä nivelellä työkalu saadaan tasolla oikeaan kohtaan ja kiertymäkulmaan. Neljäs lineaarinen pystyliike on työtason

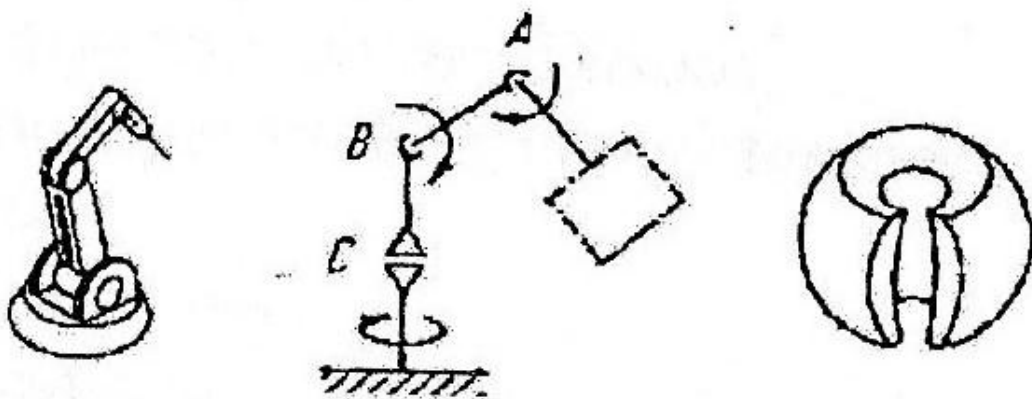
normaalin suuntainen. SCARA-robotti muistuttaa ihmisen vaakatasossa liikkuvaa käsivartta, mutta ranteeseen on asennettu pystyjohde. SCARA-robotteja käytetään yleisimmin pienien kappaleiden kokoonpano- ja tarkastustöissä. (Kuivanen 1999, 12; Teollisuusrobotti, artikkeli, hakupäivä 18.3.2013.)



KUVA 10. SCARA-robotti (Kuivanen 1999, 12).

6.1.5 Kiertyvänivelinen robotti

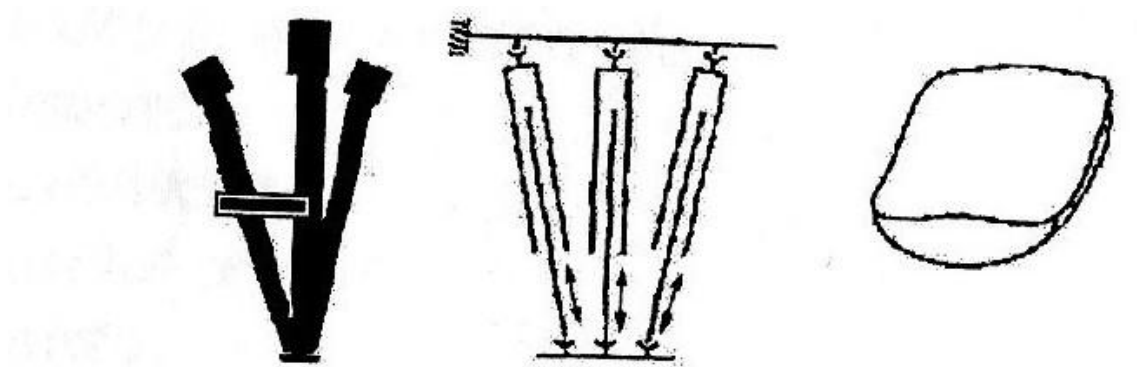
Rakenne on ihmiskäsivartta muistuttava. Nivelroboteilla on yleensä kuusi vapaasti ohjelmoitavaa niveltä, jolloin käsivarren päässä toimiva työkalu voidaan asettaa kaikkiin mahdollisiin kulmiin. Nivelrobotin rakenne on soveltuvuudeltaan monipuolisin, minkä johdosta nykyiset teollisuusrobottien mekaniikka ratkaisut perustuvatkin tähän rakenteeseen. Kiertyvänivelisiä robotteja käytetään monissa teollisuuden sovelluksissa ja tehtävissä. (Kuivanen 1999, 16-17; Teollisuusrobotti, artikkeli, hakupäivä 18.3.2013.)



KUVA 11. Kiertyvänivelinen robotti (Kuivanen 1999, 12).

6.1.6 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrakenteinen robotti eroaa mekaaniselta rakenteeltaan muista roboteista. Robotin rakenne muodostuu kolmesta liikeakselista, jotka on asennettu rinnan. Rakenteensa vuoksi robotin työalue jää pieneksi. Liikkeisiin rinnakkaisrobotti on kuitenkin nopea ja tarkka. Robottia käytetään ns. pick&place -työkohteissa, jolloin se nimensä mukaisesti nostaa kappaleen kuljettimelta ja siirtää sen toiselle kuljettimelle. Elintarviketeollisuus käyttää rinnakkaisrobotteja tuotantolinjoissaan. (Kuivanen 1999, 16; Teollisuusrobotti, artikkeli, hakupäivä 18.3.2013.)



KUVA 12. Rinnakkaisrakenteinen robotti (Kuivanen 1999, 12).

Robottijärjestelmään kuuluvat seuraavat komponentit:

- työkalu
- ns. prosessianturit tai -aistimet, jotka tarkkailevat ympäristöä
- robotin käsivarsi
- robotin ohjausjärjestelmä
- mahdolliset ympärys- eli oheislaitteet
- liitännät robotin toimintaa ohjaaviin ulkoisiin tietokoneisiin. (Kuivanen 1999, 15.)

6.2 Robotin ohjausjärjestelmät

Ohjausjärjestelmien avulla voidaan hallita robottia ja robottiin liitettyjä oheislaitteita. Robottien ohjausjärjestelmät ovat reaaliaikaisia prosessitietokoneita, jotka pystyvät ohjaamaan robotin toimilaitteita tuhansia kertoja sekunnissa ja reagoimaan ympäristön viesteihin millisekunneissa järjestelmään kytkettyjen aistielimien avulla. Ohjausjärjestelmän päätoimintona on ohjelmasta tulevien liikekäskyjen tulkitseminen ja niiden eteenpäin lähettäminen robotille tai robottiin liitetuille oheislaitteille. Ohjausjärjestelmän tehtävänä on myös havainnoida robotin ympäristöä antureiden avulla. Ohjausjärjestelmän toimintoihin kuuluu myös robotin sisäisen toiminnan tarkkailu, jota kutsutaan itsediagnostiikaksi. Lisäksi se ymmärtää muualla tehdyn ohjelman. (Kuivanen 1999, 34.)

Ohjausjärjestelmä koostuu pääasiassa seuraavista komponenteista:

- keskusyksikkö
- massamuisti ohjelmien tallennusta varten
- käsiohjain operointia ja ohjelmointia varten
- liitännät ulkoisiin tietokoneisiin
- nivelkohtaiset servotoimilaitteet
- teholahteet, sähkönsyötön muuntamista järjestelmälle ja laitteille sopiviksi. (Kuivanen 1999, 34.)

Aikaisemmin eri robottivalmistajilla on ollut itse tehdyt ohjausjärjestelmät, jolloin yhteensopivuutta tai edes yhteistä ohjelmointimenetelmää ei ole syntynyt. Vasta nykyisin on alettu kehittämään uusien robottien ohjausjärjestelmät siten että ne vastaavat myös muita markkinoilla olevia. (Kuivanen 1999, 34.)

7 ROBOTTIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Robottijärjestelmän hankinta jakautuu yleensä neljään eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa tutkitaan automatisoinnin tarve ja luodaan yleiset suuntaviivat hankittavalle laitteistolle. Hankintavaiheessa keskitytään järjestelmän vaatimiin toimintoihin ja yksityiskohtien suunnitteluun sekä tehdään tarvittavat valmistuspiirustukset. Asennus- ja käyttövaiheessa robotti asennetaan ja ohjelmoidaan käyttöä varten. Käyttövaiheen tarkoituksena on hankitun robottijärjestelmän hyödyntäminen tuotannossa. Suunnittelun painopiste on esisuunnitelma- ja hankintavaiheessa. (Kuivanen 1999, 93.)

7.1 Nykyinen tilanne

Kivihiliseosnäytteen analysoinnin vaatimien manuaalisten toimenpiteiden automatisoinnin tarpeen perustana on korvata nykyiset ihmisen tekemät toimenpiteet robotilla. Nykyinen näytteenotto ja analysointi tehdään manuaalisesti käsin usean eri tekijän toimesta. Operaatiota suorittamiseen sisältyy useita mahdollisuuksia inhimillisen virheen tekemiseen ja lisäksi tekijöiden toimintatavoissa on eroavaisuuksia. Analysointioperaation suorittamiseen on tarkoituksena löytää toimiva robottiratkaisu, jolla saadaan näytteen analysointiin vaadittavat toimenpiteet suoritetuksi ilman merkittäviä eroavaisuuksia.

7.2 Analysoinnin automatisoinnin perusteet

Yleinen tavoite automatisoinnilla tuotannossa on tuotannon tehostaminen ja tuotantokustannuksien vähentäminen. Tuotannon automatisoinnilla pystytään vaikuttamaan työtehtävien sisältöön, tuotannon laatuun sekä ympäristötekijöihin. Tuotannon automatisointiin liittyviä yleisimpiä perusteita ovat:

- raskaiden ja vaarallisten tehtävien vähentäminen
- tuotannon laadun tasaisuuden saavuttaminen
- ammattitaidon puute tuotannon työtehtävissä
- tuottavuuden parantaminen
- yrityksen imago
- miehittämättömän tuotannon mahdollisuus

- tuotantolaitteiden käyttösuhteen nosto
- kapasiteetin lisääminen
- ohjattavuuden parantaminen
- visuaalisempi tuotanto.

Oikein toteutetulla automatisoinnilla pystytään vaikuttamaan moneen eri asiaan, ennen kaikkea tehostamaan tuotantoa, jolloin yrityksestä saadaan kannattavampi ja myös kansainvälisesti kilpailukykyisempi. (Aaltonen & Torvinen 1997, 151.)

Kivihiiliseosnäytteen analysoinnin automatisoinnin tarkoituksena ei ole niinkään välitön tuotannon tehostaminen tai tuotantokustannuksien vähentäminen, mutta välillisesti automatisointi vaikuttaa myös näihin. Tärkeimpinä syinä voidaan pitää tuotannon laadun tasaisuuden saavuttamista sekä näytteenotto ja analysointiprosessin eroavaisuutta suorittajien välillä. Tällöin näytteenoton analysoinnista saataisiin laadullisesti huomattavasti edustavampi nykyiseen manuaalisesti tehtävään analysointiin verrattuna. Näytteenotto ja siitä määräkokoan ositetun näytteen analysoinnissa on huomattu olevan eroavaisuuksia suorittajien välillä.

7.3 Robottijärjestelmän toteuttamisen vaihtoehdot

Robottijärjestelmän hankkiminen ja vastuun jakaminen toimittajan ja käyttäjän välillä voidaan jakaa kolmella eri tavalla. Avaimet käteen -periaatteella investoitu robottijärjestelmä saadaan yleensä nopeasti tuotantokäyttöön. Toteuttamistavan haittapuolena on robotin valmisjärjestelmä, jonka kehittäminen yrityksen oman henkilöstön turvin ontuu johtuen tietotaidon puutteesta. Ongelmana kokonaistoimituksissa on usein järjestelmän toimittajan rajallinen tietämys tilaajan prosessitekniikan vaatimuksista. Hyvä yhteistyö toimittajan ja tilaajan välillä on tässä tapauksessa välttämätöntä järjestelmän kehitystyön ja optimoinnin kannalta. (Kuivanen 1999, 101.)

Toisena vaihtoehtona on hankkia robottijärjestelmä itse ja antaa sen asennustyö ja käyttöönotto ulkopuoliselle yritykselle. Tällaista toimitustapaa käytetään usein käytettyä robottia ja oheislaitteita hankittaessa. Edullisia hankintakanavia ja –sopimuksia hyödyntäen kokonaistuloksesta saadaan yleensä hyvä. (Kuivanen 1999, 101.)

Kolmas vaihtoehto vaatii yritykseltä eniten osaamista. Robottijärjestelmän hankinta ja asennus tapahtuu yrityksen omin voimin. Vaihtoehdossa on suuria riskitekijöitä, mutta toisaalta se kasvattaa yrityksen osaamista ja tietotaitoa tuotannon automatisoinnista huomattavasti. Riittävä panostus henkilöstön koulutukseen ja varaamalla aikaa toteuttamiselle sekä taloudellisten resurssien varmistamisella saavutetaan järjestelmän käytön ja jatkokehittelyn kannalta paras mahdollinen lopputulos. (Kuivanen 1999, 101.)

Robottijärjestelmäkauppaa sovittaessa on kauppakohtaisten ehtojen lisäksi syytä sopia myös yleisistä sopimusehdoista. Robottijärjestelmille on Teknisen Kaupan Liitto kehittänyt Robotiikan ja järjestelmäkaupan yleiset toimitusehdot, RKY 96. (Kuivanen 1999, 101.)

8 TARTTUJA

8.1 Robottitarraimet ja työkalut

Robotin työkalu on se mekaaninen osa, jota robotti siirtää asemasta toiseen. Työkaluista tavallisin on tarrain. Prosessiin osallistuvilla työkaluilla tarkoitetaan mm. hitsauspistoolia, maaliruiskua tai liimasuutinta. Olemassa on myös erilaisia työkalukombinaatioita. Tarraimen suunnittelu on yksi tärkeimmistä osista robottisovelluksessa. Tarrainta suunniteltaessa ja valittaessa tulee tuntee mahdolliset tarraintyypit. Tarraimet voidaan jakaa seuraavanlaisiin ryhmiin (Kuivanen 1999, 60):

- liikkeen mukaan avautuvat ja sulkeutuvat tarraimet
- liertyväsormiset ja rinnakkain suoraviivaisesti liikkuvat sormet
- pneumaattiset, hydrauliset tai sähköiset tarraimet
- kaksi-, kolmi- ja useampisormiset tarraimet
- jäykät ja joustavat tarraimet
- kappalekohtaiset tai yleistarraimet
- keskittävät tarraimet
- magneettiset tarraimet
- alipainetarraimet
- sisäisesti laajenevat tarraimet
- yksittäinen, kaksois- tai revolveritarrain
- älykkäät anturoidut tarraimet
- erikoistarraimet, (Kuivanen 1999, 60.)

Sormien liikkeet saadaan aikaan erilaisilla mekanismeilla. Mikäli mekaanisen tarraimen käyttö on mahdotonta, käytetään usein alipaineeseen perustuvia tartuntaelimiä. (Kuivanen 1999, 60.)

8.1.1 Mekaaninen tarrain

Mekaanisilla tarraimilla on useita erilaisia kinemaattisia rakenteita, mm. nivelmekanismeja, hammaspyörä ja hammastanko, epäkesko, ruuvi ja vaijeriväkipyörä ja lisäksi on paljon sekalaisia luokittelemattomia tarraimia. Mekaaniset tarraimet jäljittelevät ihmiskäden sormien puristusotetta. (Kuivanen 1999, 60.)

8.1.2 Imutarraimet

Imutartunnassa tartunta tapahtuu yleensä vain yhdeltä suunnalta. Kumiset tai muoviset imukupit eivät vahingoita nostopintaa kovin herkästi. Tartuntavoimasta saadaan suurempi lisäämällä imukuppeja. Useampaa imukuppia käytettäessä on huomioitava, että yhdenkin imukupin irtoaminen aiheuttaa järjestelmän alipaineen häviämisen, mikä ilman varolaitteita johtaa kappaleen irtoamiseen. Imukupit vaativat yleensä tasaisen, sileän, puhtaan ja tiiviin pinnan tarttuakseen. Tarraimen ei saa syntyä suuria, tarrainta vastaan kohtisuoria sivuttaisvoimia. Tartunta toteutetaan yleensä keskeisesti kappaleen painopisteen kohdalle. Alipaineen muodostamiseen käytetään pääasiassa kahta tapaa: venturia tai ejectoria tai mahdollisuuksien mukaan erillistä alipainepumppua. (Kuivanen 1999, 63)

Imukupitartunnan etuna on rakenteen yksinkertaisuus ja yleensä myös luotettavuus, sillä siinä on vähän liikkuvia osia. Imukupit soveltuvat hyvin puhdastiloihin ja ne toimivat myös joustoelementteinä. Haittapuolena on paineen kadotessa kappaleen irtoaminen. Imukupilla ei voida keskittää kappaletta, myös mahdollinen pöly saattaa tukkia järjestelmän. (Kuivanen 1999, 64)

8.1.3 Magneettitarrain

Magneettista tarrainta voidaan käyttää vain magneettisille aineille. Magneettitarraimen nostovoima riippuu kappaleen materiaalista, muodosta, pinnanlaadusta, ilmaraosta ja magneetin lämpötilasta. Nostettavan työkappaleen vaatimuksena on riittävän suuri ja tasainen tartunta-alue, sillä ilmaraon kasvaessa magneettikenttä heikkenee nopeasti. Tartunta tapahtuu nopeasti, mutta jäännösmagnetismi hidastaa kappaleen irrotusta. Kestomagneeteille tarvitaan erillinen irrotuslaite. Sähkömagneeteilla pystytään kääntämään magneettikentän suuntaa, jolloin irrotus

tapahuu nopeasti. Sen ongelmana on lämpeneminen käytössä, näin ollen työkierto on suunniteltava siten, että lämpötila ei pääse nousemaan liikaa. (Kuivanen 1999, 64.)

8.1.4 Erikoistarraimet

Erikoistarraimet perustuvat usein esimerkiksi tartuntaelinten laajenemiseen tai kappaleen ympärillä mukautuvasti tarttuvaan elimeen. Lamelli tai muu vastaavanlainen mekaanisesti muotoutuva elementti tarttuu kappaleeseen. Muotoutuva elementti voi perustua granulaattiin, jota muokataan paineen avulla tai magneettipulveriin, jota voidaan säätää sähkömagneetilla. Tartuntavoiman aikaansaamiseksi voidaan käyttää myös liimaa tai muuta adheesiomekanismia. (Kuivanen 1999, 64.)

8.1.5 Vakiotarraimet

Robottien valmistajilla on tuotevalikoimissaan standarditarraimia tai niiden komponentteja, joista voidaan helposti koota ja muokata erilaisia tarraimia. Markkinoilla on myös robottitarraimien valmistajia. Usein tarraimien joudutaan kuitenkin rakentamaan sovelluskohtaisesti, muotoilemalla vakiotarraimeen uudet tartuntapinnat. (Kuivanen 1999, 64.)

8.2 Tarraimen suunnittelu

Tarraimen suunnittelu on yksi tärkeimmistä vaiheista suunniteltaessa robottijärjestelmää. Suunniteltaessa tarraimia ja työkaluja tulee katsoa koko automatisointitehtävää kokonaisuutena, jossa pieni mutta erittäin tärkeä osa on tarraimen tai työkalun suunnittelu. Yleisesti tarraimelta toivotaan yksinkertaista rakennetta, pientä kokoa ja painoa, luotettavaa tartuntaa, kappaleiden keskitystä ja perustilassa kiinni olevaa tarrainta. Luotettavuutta ajatellen tärkeimmät asiat ovat robotin hyötykuorma, tartuntamenetelmä, toleranssianalyysi, tarraimen luoksepäästävyys ja kunnossapito. Tärkeää on myös huomioida, että tarrain ja kulloinkin siirrettävät kappaleet muodostavat yhdessä robotin kuorman. Näin ollen raskas tarrain pienentää robotin hyötykuormaa. (Kuivanen 1999, 64 - 65.)

Suunniteltaessa on tärkeää paneutua tehtävän määrittelyyn ja toiminnan suunnitteluun. Analysoitavana on erilaisia vaihtoehtoja, esimerkiksi onko käsiteltävissä kappaleissa yhteneväiset tartuntapinnat, jolloin kyseessä on tarrainta ajatellen samanlainen kappale vai tuleeko tarraimen käsitellä tartuntapinnaltaan erilaisia kappaleita. On myös mahdollista käyttää monitarrainta tai työkalunvaihtojärjestelmää. Esisuunnittelu vaiheessa haetaan mahdollisia tarraimen toimintaperiaatteita, tartuntapintoja ja määritellään tarraimeen tarvittava älykkyys eli anturointi ja tiedonkäsittely. Yleensä kannattavaa on tehdä muutoksia prosessille tai suunnitella käsiteltävät kappaleet huomioiden tarraimen tai työkalun toiminta. Usein järkevin vaihtoehto on suunnitella tuote ja valmistusjärjestelmä samanaikaisesti. Automaattisen käsittelyn tai kokoonpanon vaatimukset eivät aina sovellu vanhaan tuotteeseen. (Kuivanen 1999, 65 - 66.)

Käsiteltävään kappaleeseen liittyviä ongelmia ovat koko, muoto ja massa, sekä erilaiset materiaalit, edelleen kappaleen epämääräinen asema. Tuotanto prosessin ongelmat voidaan jakaa tarraimen tehtävään liittyviin ja ympäristön aiheuttamiin ongelmiin. Puolestaan tarrainta koskevia ongelmia ovat sen rakenne ja toiminnallisuus. Automatisoinnin helpottamiseksi prosessia on mahdollisesti muutettava. Oheislaitteiden sijainti on tärkeää luoksepäästävyys helpottamiseksi. Hyvällä oheislaitteiden suunnittelulla voidaan vähentää asemointiin liittyviä epämääräisyyksiä. Tarraimella voidaan puolestaan tehdä osa oheislaitteilla suoritettavista tehtävistä. (Kuivanen 1999, 66.)

Pohjana tarraimen suunnittelulla on prosessi- ja kappaleanalyysi. Kappaleen koko, muoto ja materiaali määrittelevät käytettävän tartuntamekanismin ominaisuudet, joita ovat tartuntapisteet, voimavälitykset, liikealueet ja anturoinnit. Ympäristön vaikutusta tarraimen toimintaa ei saa myöskään unohtaa. (Kuivanen 1999, 66 - 67.)

8.2.1 Tartunta

Tartuntatapahtuma voi perustua kappaleen muotoihin eli muotosulkeiseen tartuntaan tai puristusvoimaan eli kitkasulkeiseen tartuntaan. Toisaalta tartunta voi olla myös näiden kahden kombinaatio. Tartuntavoiman tulee olla niin suuri että se pitää kappaleen paikallaan. Tartuntavoiman ollessa liian suuri se voi rikkoa käsiteltävän kappaleen, liian pieni tartuntavoima puolestaan irrottaa kappaleen tarraimesta. Hyvin pieniin tai hauraisiin kappaleisiin tulee käyttää muotosulkeista tartuntaa, jolloin kappaleeseen kohdistuvat tartuntavoimat voivat olla pienemmät. Kappaleeseen kohdistuva puristusvoima voi olla piste-, viiva- tai pintakuormana. Tarraimeen on mahdollista lisätä kitkakerrointa lisäävää materiaalia, esimerkiksi kumia. Toisaalta liiallinen kitka on haitaksi keskittäväksi muotoiluille sormille. (Kuivanen 1999, 67 - 68.)

8.2.2 Mekaaninen rakenne

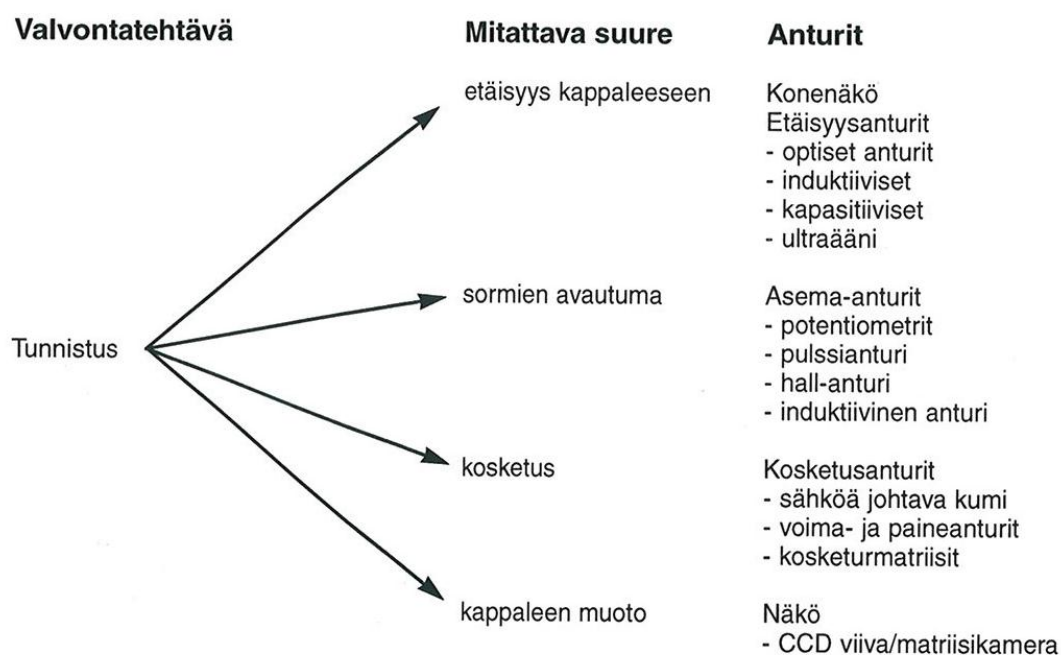
Tarraimen suunnittelussa tulee tehdä valintoja käyttöenergian, toimilaitteen, mekanismin ja sormien sekä kynsien muotoilun suhteen. Tärkeät anturit voidaan integroida mekaaniseen rakenteeseen tai joissain tapauksissa voidaan käyttää erillistä näköjärjestelmää. Sormet voivat muodostaa vipumekanismeja, yleensä kokomekanismi on kahden eri mekanismin yhdistelmä. Mahdollisuuksien mukaan tulee pyrkiä yksinkertaiseen rakenteeseen, sillä monimutkainen tarraimekanismi lisää toimintahäiriöiden syntyä. Nivelmekanismeja käytettäessä on syytä muistaa nivelkitkojen vaikutus sekä mekanismin kuolokohdat. Liitteessä 1 on esitetty erilaisia tarraimekanismeja. (Kuivanen 1999, 68.)

8.2.3 Toimilaitteet

Toimilaitteina voidaan käyttää: hydraulikkaa, pneumatiikka tai sähköenergiaa. Yleensä säätämistä tarvitaan tarrainvoimassa ja tarraimen avautumassa. Sähköisiä toimilaitteita käytetään älykkäissä tarraimissa niiden hyvän ohjattavuutensa ansiosta. Servopneumatiikan kehityksen johdosta pneumatiikka käytetään entistä enemmän. Suuria tartuntavoimia vaadittaessa käytetään hydraulikkaa. Tarraimen toimilaitteet vaaditaan yleensä hyvää ohjattavuutta, pientä kokoa ja helppoa liitettävyyttä mekanismiin. (Kuivanen 1999, 68 - 70.)

8.2.4 Anturit

Antureita käytetään tarraimen ympäristössä ja toiminnassa tapahtuvien tietojen aistimiseen (kuvat 13 ja 14). Anturit voidaan jakaa toimintansa mukaan tarraimen sisäistä ja ulkoista tilaa mittaaviin antureihin. Sisäisellä anturoinnilla tarkoitetaan tarraimen toimintaa ja tilaa mittaavia antureita, esimerkiksi sormien avautumiskulman tai avautumisnopeuden perusteella. Ulkoisilla antureilla mitataan käsiteltävää kappaletta ja ympäristöä. Antureiden valinnassa tulee ottaa huomioon tarraimen käyttötarkoitus, ympäristövaatimukset ja ohjausjärjestelmä. Anturin toimintaperiaatetta valittaessa on huomioitava käsiteltävän kappaleen materiaali. (Kuivanen 1999, 70.)



KUVA 13. Kappaleen tunnistustehtävän anturoinnin vaihtoehtoja (Kuivanen 1999, 69).

	Tartuntavaihe	Siirtovaihe	Prosessivaihe
Tarraimen tarkkailu	-tarraimen tila -tartuntavoima -törmäys	-tartuntavoima -törmäys	-tartuntavoima -törmäys
Kappaleen tarkkailu	-läsnäolo -tunnistus -asema ja asento -kappaleen tarkistus -tartunta	-luiston valvonta -kappaleen tarkistus -törmäys	-luiston valvonta -törmäys
Prosessin tarkkailu			-läsnäolo -tunnistus -asema ja asento -ympäristön tarkistus -asennusvoima -asennussyvyys

KUVA 14. Anturoidun tarraimen tarkkailutehtäviä toiminnan eri vaiheissa (Kuivanen 1999, 70).

8.2.5 Tarraimen turvallisuus

Yhtenä tavoitteena on turvallisen ja luotettavan tarraimen kehittäminen taloudellisesti. Suunnittelun jokaisessa vaiheessa tulee huomioida turvallisuustekijät. Standardit ja määräykset asettavat omat tavoitteet ja vaatimukset tarraimen suunnittelussa. Nämä on otettava huomioon yhdessä työtehtävässä vaadittavien asioiden kanssa. Teollisuusrobotin ja tarraimen turvallisuus ja luotettavuus on suunniteltava yhtenä kokonaisuutena. Tarraimen turvallisuutta voidaan parantaa onnistuneella muotoilulla ja turvallisella vikaantumisella. (Kuivanen 1999, 71.)

9 OHEISLAITTEET

9.1 Sijoittelu ja sijoittelun kriteerit

Robottijärjestelmän yksi olennainen osa on järjestelmässä käytettävät oheislaitteet. Kriteerit oheislaitteiden sijoittelussa ovat peruseräiteiltään varsin yksinkertaiset. Robottiin kiinnitettävissä laitteissa ratkaisevinta ovat laitteen kokonaismassa ja sijoittelusta aiheutuva robottia jatkuvasti kuormittava vääntömomentti. Asennettava laite saa painaa sen, minkä robotti jaksaa vielä käsitellä hyötykuormallaan. Työkalunlaippaan nähden on huomioitava massakeskiön sijoittumisesta ns. sallitulle alueelle, jolloin massasta aiheutuva vääntömomentti pysyy vielä sallituissa rajoissa. Sijoittelun onnistumisen kannalta tärkein tekijä on työkalun kiinnityksen suunnittelu siten, että saavutetaan vaadittava ulottuvuus aiheuttamatta tarpeetonta lisäkuormaa robotille. Kappaleenkäsittelysovelluksissa ratkaisevaa on tarraimen massa ja sijoittelu, mitä painavampi tarraim sitä vähemmän jää käsittelykapasiteettia kappaleelle. Tarraimien valmistuksessa pyritään käyttämään mahdollisimman keveitä materiaaleja kuten alumiinia massan minimoimiseksi, kuitenkin lujuudesta tinkimättä. (Kuivanen 1999, 93.)

Robottijärjestelmään sijoitettavilla oheislaitteilla on tilankäytöllisesti suuri merkitys. Tärkeimpänä kriteerinä voidaan pitää robotin ulottuvuutta ja sen vaatimia järjestelyjä. Oheislaitteiden tiiviillä sijoittelulla voidaan minimoida robotin liikematkoja ja -aikoja. Lisäksi sijoittelussa tulee huomioida myös huollontarpeet ja puhdistuksen vaatimukset. (Kuivanen 1999, 94.)

9.2 Yleiset kriteerit oheislaitteiden valinnalle

Valinnan tärkeimmät kriteerit ovat yleensä eri vaatimusten yhdistelmiä. Yhtenä yleisimpänä kriteerinä voidaan pitää käyttöluotettavuutta. Koska robotit ovat perinteisesti avainkoneita tuotannossa, on käytettävyyden oltava maksimiluokkaa. Oheislaitteiden laadun tulee olla ylempää keskiluokkaa, tilanteesta riippuen mahdollisesti jopa parasta, mitä on saatavilla. Oheislaitteita valittaessa hinta ei ole yleensä ratkaiseva tekijä. (Kuivanen 1999, 94.)

Laitteiden valinta kannattaa aloittaa käyttöolosuhteiden kartoittamisella oheislaitteiden näkökulmasta. Siinä selvitettäviä asioita ovat muun muassa tarvittava suorituskkyky (tahtiaika vs. maksimikapasiteetti) sekä laitteen sallittu massa ja dimensiot. Työkalun käyttöön soveltuva voimanlähde tulee valita tapauskohtaisesti. Yleisen käytännön mukaan teollisuudessa tulee suosia ensisijaisesti paineilmaa, toissijaisesti sähköä ja kolmanneksi hydraulikkaa, mikäli energiamuodot voidaan asettaa tasapainoisesti toistensa vaihtoehdoiksi. Paineilman etuina on edullisuus ja laitteiston huollon helppous. Paineilmaa käytetään yleensä kevyissä tai keskiraskaissa sovelluksissa, ellei sitten päädytä sähköön. Hydraulikkaa käytetään puolestaan raskaissa sovelluksissa suuren teho-paino-suhteensa johdosta. Haittapuolena on suurempi huollon tarve sekä komponenttien hinta. (Kuivanen 1999, 94.)

Ehdoton kriteeri robottikäytön kannalta on laitteen liitettävyyys robottiohjaimeen halutulla tavalla. Robottiin on saatava riittävät takaisinkytkentäsignaalit laitteen ohjaamiseksi, lisäksi laitteeseen tulee olla mahdollista liittää tarvittavat ohjaussignaalit. Nykyisten oheislaitteiden kehitys on johtanut myönteiseen tulokseen: tarvittavat signaalit on mahdollista kytkeä joko suoraan automaattiliitännällä tai signaalien kytkeminen on mahdollista toteuttaa kohtuullisella vaivalla. Monimutkaisten oheislaitteiden robottikäyttö edellyttää omaa vikadiagnostiikkaa, jolloin häiriötilanteen sattuessa voidaan syöttää yksityiskohtainen vikatietosignaali robottiohjaimeen. (Kuivanen 1999, 94.)

Oheislaitteille on oma tyypillinen huoltoväli ja elinikä. Teollisuusrobotti on oikein tehtyjen huoltojen ansiosta käyttöikänsä pari vuosikymmentä, joten oheislaitteiden tulee kestää käytössä yhtä kauan. Tämä asettaa oheislaitteiden huolettavuudelle korkeat vaatimukset. (Kuivanen 1999, 94.)

Oheislaitteiden tulee täyttää robottijärjestelmille asetetut turvallisuus- ja viranomaismääräykset. Oheislaitteiden on oltava ns. turvallisesti vikaantuvia, jolloin laitteen hajoaminen ei aiheuta järjestelmän ulkopuolista vaaraa ihmisille. Sähkölaitteiden osalta on vuodesta 1996 alkaen kiinnitettävä huomiota EMC-direktiiviin. Robottijärjestelmien samoin kuin kaikkien koneiden on täytettävä sähkömagneettisen yhteensopivuuden vaatimukset sekä sallitussa häiriönpäästössä että häiriönsiedossa. Tämä vaatimus koskee myös robottijärjestelmän oheislaitteita. (Kuivanen 1999, 95.)

10 TIEDONSIIRTOLIITYNNÄT

10.1 Yleistä

Joustavan robottijärjestelmän yksi välttämättömistä osista on tiedonsiirtoliityntä, jolla voidaan antaa robotille käskyjä ja välittää tuotantoa ohjaavia parametreja ylemmän tason ohjauksesta. Näköjärjestelmää tai muita vastaavia älykkäitä toimilaitteita käytettäessä tarvitaan myös tiedonsiirtoliityntää. Tietokoneliitynnällä voidaan robotti yhdistää PC:hen, jota voidaan käyttää ulkoisena massamuistiasemana. Robottiohjaimissa käytettävien verkkokorttien myötä robottiohjain on olennainen osa tuotantolaitoksen lähiverkkoa. Tämä mahdollistaa ylemmän tason ohjauksen hajauttamisen useamman järjestelmän kesken. (Kuivanen 1999, 48.)

10.2 Tiedonsiirtotiet

Robottiohjain on varustettu vähintään RS-232C-sarjaliikenneportilla. Tämän lisäksi ohjaimen varustukseen voi kuulua myös RS-422. Sarjaliityntöjen etuna ovat olleet niiden edullisuus ja yksinkertaisuus. Toisaalta useamman kuin kahden robottiohjaimen liittäminen samaan mikrotietokonejärjestelmään vaatii lisäinvestointina sarjaliikennekortin. Yleensä tietokoneen vakiovarustukseen kuuluu yhdestä kahteen sarjaporttia. Robottiohjaimissa käytettävät sarjaportit ovat yleensä tietokoneista tuttuja D25 -liittimiä. Poikkeuksena esimerkiksi ABB:n sarjaportit ovat vaihdelleet aina yksinkertaisista ruuviliittimistä eksoottisiin Phoenix- ja Burndy-liittimiin. (Kuivanen 1999, 48 - 49.)

Sarjaporttiliityntöjen rinnalle on ilmestynyt vuoden 1997 jälkeen kaikilta suurimmilta robottivalmistajilta ethernet-liityntä. Siinä käytetään kaapelointiin standardin mukaista parikaapelia. Se on helppo ja halpa ratkaisu oheislaitteiden liittämiseksi lähiverkkoon. (Kuivanen 1999, 49.)

10.3 Tiedonsiirron ohjelmistot

Tietokoneen ja robottiohjaimen välinen tiedonsiirtoliityntä on käytännössä mahdollista toteuttaa kahdella tavalla. Monipuolisempi ja joustavampi näistä on robottivalmistajan tarjoama valmis

tiedonsiirtoliityntäoptio. Liityntätapa on tarkoitettu älykkääseen, ylemmän tason ohjauksen tiedonsiirtomenetelmäksi. Tiedonsiirtoliityntäoptiolla tarkoitetaan erillistä ohjelmistomoduulia, joka on asennettu varsinaisen robottiohjainohjelmiston alaisuuteen. Tietokoneliitynnällä tapahtuva liikennöinti on itsenäistä, taustalla toimivaa ja täysin riippumatonta robotin työkierto-ohjelmasta. Näin ollen tiedonsiirtoyhteys toimii robotin työkierron ollessa pysähdyksissäkin. (Kuivanen 1999, 49.)

Tiedonsiirtoliitynnän mahdollistavia toimintoja ovat:

- robottiohjaimen ohjelmien ylös- ja alaslataukset
- ohjelmien käynnistykset ja pysäytykset
- digitaali/analogia-tulojen ja -lähtöjen luku sekä kirjoitus
- rekisteritietojen ja muuttujien luku sekä kirjoitus
- virhekoodien välitys tietokoneelle
- toimintatilan monitorointi sekä asetus. (Kuivanen 1999, 49.)

10.4 Tiedonsiirtoprotokollat

Liityntäprotokollat vaihtelevat valmistajien kesken (taulukko 1). Tiedonsiirrolle ei ole olemassa minkäänlaista standardia, vaan valmistajat käyttävät kukin itselleen sopivinta liityntä vaihtoehtoa. Ethernet-liityntä on yleistynyt tiedonsiirrossa ja näin ollen myös robottivalmistajat ovat siirtyneet käyttämään ethernet-pohjaista tiedonsiirtoa. (Kuivanen 1999, 49 - 50.)

TAULUKKO 1. Tietokoneen ja robotin välisiä tiedonsiirto liityntöjä (Kuivanen 1999, 50).

Valmistaja	Ohjaintyyppi	Liitynnän nimi	Siirtotiet	Protokolla
ABB	S2/S3	Computer Link	RS-232	ARAP/ADLP10
ABB	S4	RAP	RS-232, 10Base-T	TCP/IP, RPC
Fanuc	R1/R12	Data Transfer, Sensor Interface	RS-232	OI
Motoman (Yaskawa)	ERC/MRC	Datatransmission Function	RS-232	BSCLIKE
Motoman (Yaskawa)	MRC	Datatransmission Function	10Base2	TCP/IP

11 ROBOTTIEN OHJELMOINTI

Robottien ohjelmointi alkoi sähkömekaanisia kytkentöjä käyttäen, joiden avulla robotin nivelet pystyttiin ajamaan päin rajakytkimiä yksi vaihe kerrallaan. Myöhemmin ohjelmointi tapahtui johdattamalla robotin käden nivelten paikka-antureita ja toistamalla niiden liikkeitä. Nykyisin suurin osa sovelluksista on opetettu robotille käsivartta liikuttamalla muutamiin eri asemiin, mutta toiminnan logiikka ja useat liikeradat on luoto tietokoneohjelmoinnilla. Kun robotin ja sen toimintaympäristöstä on komiulotteinen, voidaan mallipohjaista ohjelmointia suorittaa erillisessä tietokoneessa. (Kuivanen 1999, 78.)

Ohjelmoinnin tärkeimpiä tehtäviä ovat:

- toimintajärjestyksen ja logiikan laadinta robottikäsivarrelle tarvittavan työkalun liikkeiden toteuttamiseksi
- käsivarren liikkeiden tahdistaminen muihin laitteisiin tai välitetään tarvittavat tiedot oheislaitteisiin
- robotin toiminnan määrittäminen virhetilanteissa. (Kuivanen 1999, 78.)

11.1 Johdattamalla ohjelmointi

Ensimmäiset käytössä olleet robotit palvelivat valukoneita vaihe kerrallaan sähkömekaanisten kytkentöjen avulla sähkömekaanisten logiikoiden ohjauksessa 1960-luvulla. Käsivarren toimilaitteet vapautettiin ja ihminen pystyi määrittämään työkalun liikkeet lihasvoimin haluttujen liikeratojen mukaisesti. Paikka-antureiden lukemat saatiin liikkeiden aikana talletettua instrumenttinauhuriin. Liikkeitä toistettaessa, nauhuri yhdistettiin nivelten toimilaitteiden säätöpiireihin ohjeavoksi. Johdattamalla tapahtuva ohjelmointi yleistyi nopeasti varsinkin maalausroboteissa. Tämä johti maalausrobottien yleistymiseen kun maalaus onnistui ilman liikeratojen tarkkaa toistumistakin. (Kuivanen 1999, 78.)

11.2 Opettamalla ohjelmointi

Perinteinen robottien ohjelmointi tapahtuu viemällä työkalu haluttuun paikkaan käsiohjaimella ja tallentamalla asema robotin ohjelman muistiin. Asemien välistä liikkumista tai kohdeaseman valintaa ohjataan muusta ohjelmoinnista tutuilla hyppykäskyillä ja aliohjelmilla. Käsiohjaimet ovat olleet robottien ohjelmoinnin välineinä, joilla pystytään luomaan robottiohjelma kokonaisuudessaan, ohjaussauva eri interpolaatitavoilla robotin liikuttamiseksi, editoriohjelmisto, PC ohjelmatekstin luomiseksi sekä levykeasemat ohjelmien siirtoa ja tallentamista varten. Ulkoisen tietokoneen käyttö ei pelkästään riitä ohjelmoinnissa, sillä robotin ja työympäristön koordinaatistot ja 3D -mallit ovat epätarkkoja. Työkalun ulottuvuudesta riippuen epätarkkuus voi olla useita senttimetrejä. Sovelluksen aistijärjestelmillä voidaan huomioida todelliset epätarkkuudet suunnittelujärjestelmän malliin verrattuna, jolloin on mahdollista suorittaa koko ohjelmointiprosessi ulkoisessa tietokoneessa. (Kuivanen 1999, 79.)

Alkujaan robottien ohjelmointikielet vastasivat Basic -kieltä, johon oli vain lisättynä käsivarren liikekäskyt. Nykyisin käytetään lähinnä Pascal -kieltä muistuttavaa ohjelmointikieltä, jossa on käytössä kaikki rakenteelliset keinot. Ongelmana ohjelmointikielessä on valmistajien välinen erilaisuus, jokaisella valmistajalla on oma ohjelmointikielensä. Toimittajien vähentyessä ohjelmointikielet alkavat vähitellen muistuttaa toisiaan. Robottien peruskäskykannassa voi olla jopa 150 käskyä. Käskykannassa on usein ulkoisten järjestelmien käyttöä tukevia käskyjä mahdollisimman yksinkertaisesti ohjelmitavissa. Tehtävätason ohjelmointikieli on myös luotu, tosin niiden kaupallinen hyväksikäyttö on jäänyt hyvin vähäiseksi. (Kuivanen 1999, 79 - 80.)

Tyypillinen peruskäskykanta teollisuusrobotilla sisältää:

- liiketavan valinnan (lineaarinen, ympyrä- tai nivelinterpolaatio)
- liikekäskyn
- liikekäskyn suhteellisesti muunnettavaan pisteeseen
- liikeradan siirto eri ulottuvuuksissa
- kuudessa vapausasteessa siirrettävä tehtäväkoordinaatisto
- etsintäliike
- liikenopeuden ohjaus ulkoisella anturilla
- korjausliikkeiden lisäys liikerataan ulkoisilla antureilla
- työkalukoordinaatistonliikkeet

- lavaus ja lavan purkaus
- ehto, toisto ja silmukkarakenteet
- binäärisignaalien luku ja kirjoitus
- analogisten signaalien luvun ja kirjoituksen. (Kuivanen 1999, 79 - 81.)

Ulkoisten järjestelmien käskyjä ovat:

- kappaleen seuraaminen kuljettimella eli robotin liikkeen synkronoiminen kuljettimen liikkeisiin
- näköjärjestelmän käyttö kappaletta poimittaessa
- ulkoisten antureiden avulla tapahtuva liikeratojen korjaus
- kaarihitsauslaitteen ohjaus ja railonseuranta
- pistehitsausprosessin ohjaus (Kuivanen 1999, 79 - 81.)

11.3 Etäohjelmointi

Mallipohjainen etäohjelmointi voidaan erottaa muista ohjelmointitekniikoista ja myös muista etäohjelmointitekniikoista. Mallipohjainen ohjelmointi on robotin ohjelmointia ilman tuotantorobottia, ulkopuolisella tietokoneella käyttäen 3D-graafista käyttöliittymää ja robotin ja siihen liitettävien oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödyntäen kappaleen 3D-grafiikkaa. (Kuivanen 1999, 81 - 82.)

Nykyisin kaikki kehittyneimmät mallipohjaiseen ohjelmointiin pohjautuvat järjestelmät tukevat CAD-suunnittelujärjestelmiä sekä kymmeniä eri robottimerkkejä. Mallipohjainen ohjelmointi perustuu robottien ja oheislaitteiden simulointimalleihin. Tämän lisäksi ne hyödyntävät tuotemallin muototietoa. Tällaiset mallijärjestelmät mahdollistavatkin ohjelmien tarkistamisen ennen ohjelman siirtämistä robotille. Mallipohjaiset ohjelmointijärjestelmät ovat työsuunnittelussa käytettäviä ohjelmistoja ja ne voidaan sijoittaa tuotekehityksen ja valmistuksen väliin. (Kuivanen 1999, 81 - 82.)

11.4 Suunnittelu ja layout

Mallipohjaisella ohjelmointijärjestelmällä voidaan testata uuden tuotteen valmistettavuutta simuloimalla, mikä ei ole mahdollista CAD-ohjelmistoilla. Tällä saadaan selville olemassa olevien käsittely-, kiinnitys- ja muiden oheislaitteiden soveltuvuus sellaisenaan vai tarvitaanko tuotteen valmistuksen onnistumiseksi muutostöitä. Ohjelmistossa on valmiiksi mallinnettujen ja tuotannossa käytettyjen oheislaitteiden kirjasto. Mahdolliset uudet oheislaitteet, kuten kääntöpöydät, servoradat, työkalut, kiinnittimet ja työkalut, suunnitellaan muissa CAD-järjestelmissä tai ne voidaan mallintaa myös ohjelmiston omalla CAD-moduulilla. (Kuivanen 1999, 82 - 83.)

Layout-suunnittelussa robottisolun simulointimalli tehdään etäohjelmointijärjestelmän mallinnus- ja simulointiominaisuuksia hyväksi käyttäen. Tällä saadaan varmistettua robotin ulottuvuus koko työalueella etukäteen. Lisäksi pystytään löytämään sellaiset soluvaihtoehdot, joissa robotti pystyy työskentelemään mahdollisimman jouhevasti ja esteettömästi törmäilemättä ympäristön oheislaitteiden kanssa. Käyttöönottoaika lyhenee huomattavasti ja robotti saadaan toimimaan mahdollisimman optimaalisessa asennossa työkappaleeseen nähden. (Kuivanen 1999, 83 - 84.)

12 HUOLTO JA KUNNOSSAPITO

Pääpainopiste robottijärjestelmän huollossa painottuu ennakoivaan huoltoon ja kunnossapitoon. Hyvällä ennakoivalla huollolla pyritään säilyttämään robotin ja järjestelmään kuuluvien ohjelaitteiden häiriötön toimintakyky. (Kuivanen 1999, 128.)

12.1 Huoltotoiminnan lajeja

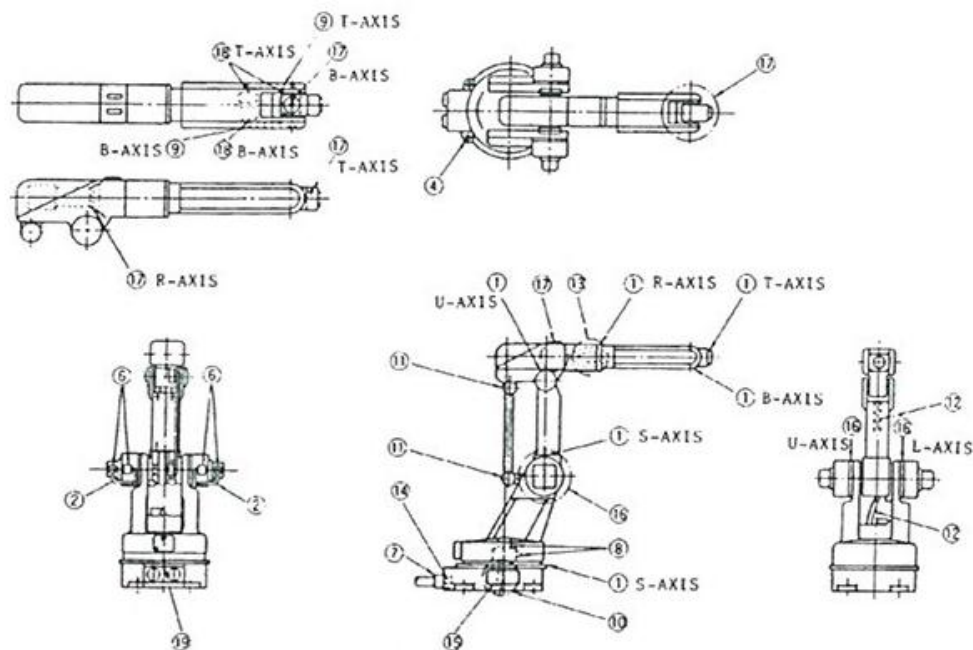
Päivittäiset tarkistukset painottuvat pääasiassa silmämääräiseen laitteen toimintakyvyn havainnointiin. Tavallisimpia kohteita ovat esimerkiksi hitsaussovelluksissa käytettävän polttimen kunnan tarkistukset, virtasuuttimen vaihdot ja suojaöljyn lisääminen sumuttimeen. Kappaleita käsiteltäessä kohteina ovat tarttujan tartuntapintojen puhdistukset, öljyn määrän tarkistukset ja kuljettimen tarkastus sekä puhdistus. (Kuivanen 1999, 128.)

Määräaikaishuollot suoritetaan järjestelmän käyttötuntien perusteella. Huoltojen yhteydessä voidaan paremmin ennakoida ja korjata robotin toimintakyvyn tulevaisuudessa vaikuttavat asiat. Huollot voidaan jaotella pienempiin, tiheämmin suoritettaviin tarkastus- ja kiristystehtäviin ja suurempiin, laitteiden suojien avaamista vaatimiin huoltoihin. Pienempien huoltojen huoltoväli on yleensä muutama sata käyttötuntia, jolloin huoltotoimenpiteet kohdistetaan lähinnä järjestelmän käyttäjille. Suuremmat huollot suoritetaan muutamien tuhansien käyttötuntien välein ja näistä vastaavat useimmiten robotin maahantuoja tai valmistaja. (Kuivanen 1999, 128.)

Yhtenä huoltotoiminnan oleellisimpana osana on vikatilanteiden korjaaminen. Robottijärjestelmissä esiintyvät vikatilanteet voidaan luokitella kahteen ryhmään: sähköiset viat ja mekaaniset viat. Tyypillisimpiä sähkövikoja ovat sulakkeen palaminen, releen ja rajakatkaisimien karkien hapettuminen tai anturien toimintahäiriöt. Mekaaniset viat syntyvät yleensä robotin käyttövirheestä johtuvissa törmäyksissä, osa esiintyvistä sähkövioista on mekaanisten kolhujen seurauksia. (Kuivanen 1999, 128 - 129.)

12.2 Huolto ja huoltokohteet

Robotin huoltokohteet ovat riippuvaisia robotin mallista ja käyttöenergiasta. Huoltokohteet määräytyvät samantyyppisissä roboteissa rakenteellisten ominaisuuksien johdosta. Tärkeimpinä huollonkohteina voidaan pitää voimansiirron ja laakeroinnin osia, joissa voimansiirron komponenttien käyttöikä pyritään pidentämään hyvällä voitelulla. Kaapelien ja liittimien vastusarvoja mittaamalla havaitaan tehonsyötössä ja anturoinnissa esiintyviä vikoja. Hyvänä esimerkkinä on Motoman K6 -robotin huoltokohteet kuvassa 15 ja huoltotoiminta taulukossa 2. (Kuivanen 1999, 129 - 130.)



KUVA 15. Robotin tyypillisiä huoltokohteita (Kuivanen 1999, 129).

TAULUKKO 2. Robotin huoltotoimia (Kuivanen 1999, 129).

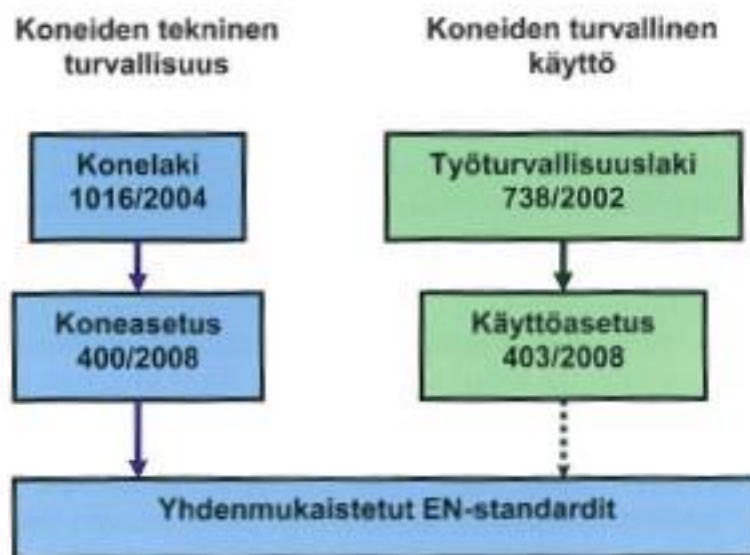
Nro	AIKAJAKSO	HUOLTOKOHDE
1	päivittäin	Robotin nollapulssiaseman tarkistus (nuolimerkkien kohdistus silmämääräisesti)
2	päivittäin	Ulkoisten johtojen kunto (mekaaniset vauriot silmämääräisesti)
3	päivittäin	Robotin työalueen puhdistus ja mekaanisten vaurioiden tarkastus
4	1 000 h	Robotin alustaan kiinnityksen kireys (kiristä tarvittaessa)
5	1 000 h	Robotin suojien kiinnitysruuvien kireys (kiristä tarvittaessa)
6	1 000 h	Moottorien tehonsyötön ja absoluuttianturien liittimien kireys ja kunto (L- ja U-akselit)
7	1 000 h	Tehonsyöttöliittimien kireys ja kunto (robotin jalusta)
8	5 000 h	Liittimien kireys ja kunto (S-akselin kotelo)
9	9 000 h	Hammashihnan kireys (B- ja T-akselit)
10	9 000 h	Kaapeloinnin kunnon mittaus vastusmittarilla (S-akselin läpivienti)
11	9 000 h	Nivelöinnin kunto (L- ja U-akselit)
12	9 000 h	Kaapeloinnin kunnon mittaus vastusmittarilla (L-akselin läpivienti)
13	9 000 h	Kaapeloinnin kunnon mittaus vastusmittarilla (U-akselin läpivienti)
14	9 000 h	Absoluuttianturien varmistuspariston kunnon tarkistus jännitemittauksella
15	5 000 h	S-akselin alennusvaihteen rasvan kunnon tarkistus ja vaihto
16	5 000 h	L- ja U-akselien alennusvaihteiden rasvojen kunnon tarkistus ja vaihto
17	5 000 h	R, B- ja T-akselien rasvojen kunnon tarkistus ja vaihto
18	9 000 h	B- ja T-akselien laakerien rasvaus
19	5 000 h	S-akselin laakerin rasvaus
20	18 000 h	Robotin purku, osien kunnon tarkistus ja uusinta tarvittaessa
21	5 000 h	Robottiohjaimen kaapin puhdistus ja toimintojen tarkistus

Oheislaitteiden huoltotarve riippuu laitteesta ja sen käytöstä. Olosuhteiden vaikutus laitteiston käyttöikään ja huollon tarpeeseen tulee huomioida tarkasti. Laitteiston huoltovälin tulee olla niin tiheä, että vaikeissa olosuhteissa toimivan robottijärjestelmän toimintakyky pystytään säilyttämään. Tarraimet ovat robottijärjestelmän tärkeimpiä komponentteja ja vikaantuessaan tarrain estää koko robottijärjestelmän käytön. Huoltotoimien laiminlyöminen voi johtaa suuriinkin tuotannollisiin tappioihin. Sovelluskohtaisesti tarraimien huoltoväliksi suositellaan noin 200 käyttötuntia. Tarraimen tärkeimpiä huoltokohteita ovat kiinnityksen, energiasyötön, tartuntapintojen ja anturointien tarkastukset. Lisäksi liikkuvien osien rasvaukset ja niiden toiminnan tarkastukset. (Kuivanen 1999, 130.)

13 TURVALLISUUS

ETA-sopimuksen myötä Suomessa tuli voimaan vuoden 1994 alussa konedirektiivi, joka nykyisin on korvattu uudella vuonna 2006 voimaan astuneella konedirektiivillä (2006/42/EY). Uusi direktiivi ja sitä vastaava suomalainen asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008) ovat tulleet voimaan 29.12.2009. Konedirektiivissä ja sitä vastaavassa suomalaisessa asetuksessa on määritelty millainen koneiden turvallisuus tulee olla, jotta niiden myyminen ja käyttäminen Euroopan talousalueen maissa olisi mahdollista. Vanha työturvallisuuslaki korvattiin uudella (738/2002) vuonna 2002. Vanhassa työturvallisuuslaissa olleita koneiden valmistajia, maahantuoja ja myyjä koskeneet säädökset siirrettiin ns. konelakiin (1016/2004). (Siirilä 2009, 25 - 26.)

Uusissa säädöksissä on huomioitu yleisen turvallisuusajattelun ja tekniikan kehittyminen. Näin ollen uusien koneiden turvallisuutta koskevat vaatimukset tiukentuivat. Jo käytössä olevilta vanhoilta koneilta vaaditaan niiden riskien arviointia ja riskien pienentämistä riittävän alhaiselle tasolle. (Siirilä 2009, 25 - 26.)



KUVA 16. Koneiden turvallisuutta koskevat keskeiset säädökset (Siirilä 2009, 26).

13.1 Konelaki (1016/2004)

Lain tarkoituksena on varmistaa, että kone, työväline, henkilösuojain tai muu tekninen laite täyttää sille asetetut vaatimukset eikä aiheuta valmistajan tarkoittamassa käytössä tapaturman vaaraa eikä haittaa terveydelle. Lisäksi lain tarkoituksena on varmistaa, että asianmukaisesti suunniteltu, valmistettu ja varustettu laite voidaan luovuttaa markkinoille tai käyttöön. Laitteen valmistajalla on yleinen velvollisuus huolehtia, että valmistettava laite soveltuu tarkoitettuun käyttöön eikä aiheuta tapaturman vaaraa eikä terveyden haittaa sen käytön aikana. Lisäksi valmistajan tulee osoittaa, että tekninen laite on vaatimusten mukainen sekä laatia ja koota tätä varten vaatimustenmukaiset asiakirjat ja käyttö-ohjeet. Valmistajan tulee myös varustaa tekninen laite merkinnällä (CE-merkintä) sen vaatimustenmukaisuudesta. (Finlex, lainsäädäntö 2004, hakupäivä 18.4.2013.)

Konelakia täydentää työturvallisuuslaki (738/2002) koneiden, työvälineiden ja muiden laitteiden käytön osalta:

- Työssä saa käyttää vain sellaisia koneita, työvälineitä tai laitteita, jotka ovat kyseiseen työhön ja työolosuhteisiin sopivia ja tarkoituksenmukaisia.
- Oikeasta asennuksesta sekä tarpeellisista suojalaitteista on huolehdittava.
- Koneiden, työvälineiden ja muiden laitteiden käyttö ei saa aiheuttaa haittaa tai vaaraa koneiden käyttäjille eikä muille työpaikalla oleville henkilöille.
- On huolehdittava koneiden, työvälineiden tai muiden laitteiden asianmukaisesta käytöstä, puhdistuksesta ja huollosta.
- Pääsyä koneen tai työvälineen vaara-alueelle on rajoitettava suojusten ja turvalaitteiden avulla.
- Huolto-, säätö-, korjaus-, puhdistus-, häiriö- ja poikkeustilanteisiin on varauduttava niin, että ne eivät aiheuta haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle. (Finlex, lainsäädäntö 2004, hakupäivä 18.4.2013.)

13.2 Konedirektiivi (2006/42/EY)

Euroopan Unionin konedirektiiviin perustuva koneasetus (400/2008) on säädös koneiden turvallisuudesta. Säädöksessä olevat velvoitteet ja vaatimukset ovat suunnattu pääasiallisesti koneiden valmistajille. Kone on suunniteltava ja rakennettava niin, että sitä on mahdollista käyttää, säätää ja huoltaa henkilöitä vaarantamatta. Toimenpiteiden on oltava toteutettavissa

ilman riskejä koneen koko käytönajan, mukaan lukien kuljetus-, kokoonpano- ja purkamisvaiheet. Valmistajan on konetta suunniteltaessa ja rakentaessa otettava huomioon koneen tarkoitettu käyttö ja lisäksi ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Valmistajan on myös toimitettava kaikki erikoislaitteet ja -varusteet koneen turvallista säätöä, huoltoa ja käyttämistä varten. Työturvallisuuslain (738/2002) ja käyttöasetuksen (403/2008) mukaan työnantajalla on myös vastuu järjestelmän turvallisuudesta sen koko elinkaaren ajan. Turvallisuuden on oltava hallinnassa järjestelmän koko käytössä olon ja käytöstä poistamisenkin ajan. Työnantajan vastuulla on ainakin seuraavat asiat:

- Turvallisuuteen liittyvän järjestelmän suunnittelun perusteet on dokumentoitu ja ovat jäljitettävissä.
- Järjestelmän luotettavuutta ja toimivuutta on testattava työpaikalla suunnittelijan ohjeistuksen mukaisilla tavoilla ja vaadituin väliajoin.
- Mahdolliset korjaukset ja muutokset tulee suunnitella ja toteuttaa hallitusti.
- Turvatoimintojen instrumentoinnin ja muiden yksityiskohtien tekniset tiedostot on ylläpidettävä. Korjausten, kunnossapidon ja tuotantomuutosten yhteydessä tehtävät muutokset on erityisen tärkeää kirjata ylös.
- Vikaantumiset ja niiden vaatimat korjaustoimenpiteet on analysoitava ja kirjattava ylös. (Finlex, lainsäädäntö 2004, hakupäivä 18.4.2013.)

13.3 Muut koneita koskevat direktiivit

Konedirektiivi toimii perusdirektiivinä. Se koskee kaikkia koneita pois lukien ne koneet, jotka kuuluvat erityisdirektiiveihin. Erityisdirektiivejä ovat muuan muassa pienjännitedirektiivi sähkölaitteille (2006/95/EY) sekä sähkölaitteiden sähkömagneettista yhteensopivuutta koskeva EMC-direktiivi (2004/108/EY). Räjähdysvaaraa koskevia direktiivejä ovat (94/9/EY) ja 1999/92/EY). Mikäli koneeseen on liitetty sähkö, koskee sitä myös pienjännitedirektiivi ja EMC-direktiivi. (Finlex, lainsäädäntö 2004, hakupäivä 18.4.2013.)

Sähköverkon ja sähkömagneettisten kenttien kautta tulevat häiriöt ovat tavallisia syitä ohjausjärjestelmän virheille, ellei järjestelmää ole suojattu riittävästi. Ohjausjärjestelmän on täytettävä sähkömagneettista yhteensopivuutta koskeva direktiivi (2004/108/EY) ja sitä vastaavan asetuksen (1466/207) vaatimukset. (Siirilä 2009, 101.)

13.4 Turvatoiminnot

Turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän tehtävänä on riskien hallitsemiseksi toteuttaa tiettyjä turvatoimintoja kun järjestelmä saa anturitiedon, ohjelmakäskyn tai havaitsee vian tai muun syyn.

Ohjausjärjestelmällä on turvatoimintojen toteuttamiseksi muun muassa seuraavia tehtäviä:

- Turvalaitteisiin yhdistettynä järjestelmä pysäyttää koneen ennen vaarakohtaan ehtimistä
- Lukitukseen ja turvalaitteisiin yhdistettynä ohjausjärjestelmä sallii vaaravyöhykkeelle pääsemisen vasta liikkeiden pysähtyttyä.
- Ohjausjärjestelmä estää koneen odottamattoman käynnistymisen.
- Estää koneen, koneen osan, työkalun tms. rikkoutumisen ja siitä aiheutuvat vaarat.
- Ohjausjärjestelmä pitää tietyissä toimintatiloissa koneen, nopeuden, liikematkan pituuden, tehon tai muun turvallisuuteen vaikuttavan ominaisuuden alhaisena.
- Tarvittaessa ohjausjärjestelmä sallii käytön vain pakkokäytöllä tai sallintalaitteilla.
- Tarvittaessa passivoi turvalaitteen.
- Hätätilanteissa pysäyttää koneen nopeasti.
- Ohjausjärjestelmä mahdollistaa puristuksiin tai muuten loukkuun jääneen vapauttamisen.
- Ohjausjärjestelmä valvoo kaatumismomenttia, kuormitusta tai muuta turvallisuuteen liittyvää muuttujaa ja estää niiden siirtymisen vaara-alueelle. (Siirilä 2009, 59.)

13.5 Ohjausjärjestelmä

Koneen turvallisuutta ajatellen ohjausjärjestelmän oikeanlaisella toteuttamisella on keskeinen merkitys. Ohjausjärjestelmän turvallisuutta ja toimintavarmuutta koskevia seikkoja on useita:

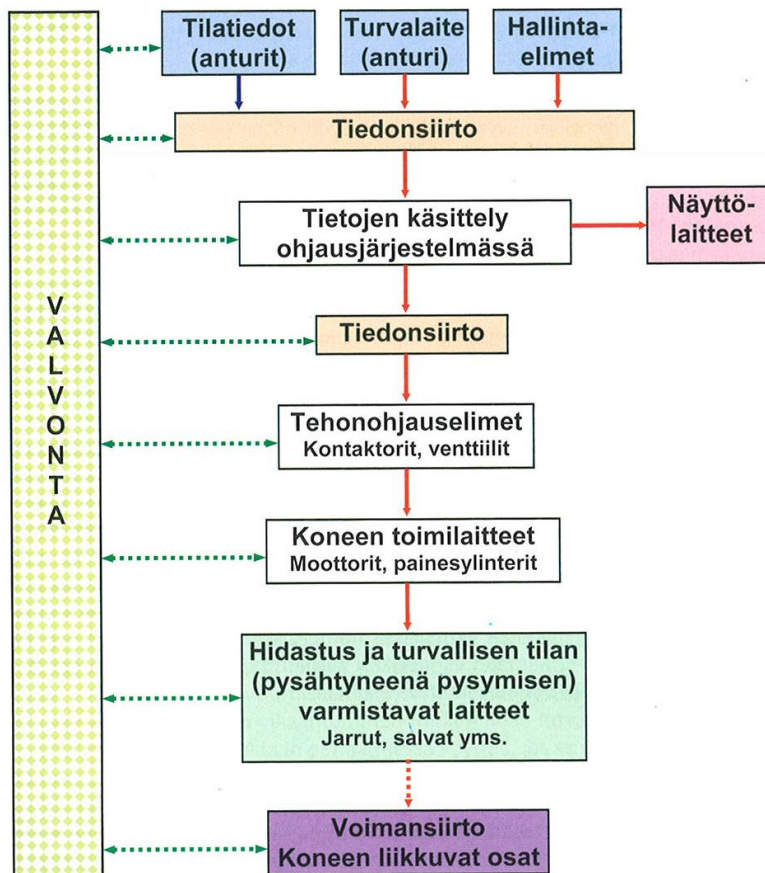
- Ohjausjärjestelmä kestää tarkoitetut käyttörasitukset ja ulkoiset vaikutukset.
- Laitteisto- tai ohjelmistovika ei aiheuta vaaratilanteita.
- Ohjausjärjestelmän logiikkavirheet eivät aiheuta vaaratilanteita.
- Kone ei saa käynnistyä odottamattomasti.
- Koneen hallitsematon ominaisarvojen muutos on estettävä.
- Pysäytyskäskyn saatua koneen pysähtymistä ei saa estää.
- Koneen osa tai koneen kiinni pitäjä kappale ei saa pudota tai sinkoutua.
- Koneessa on oltava painike pysäyttämistä varten, jolla käyttöenergian on katkettava.

- Automaattinen tai käsikäyttöinen pysäyttäminen ei saa estyä millään koneen liikkuvalla osalla. (Siirilä 2009, 55 - 59.)

13.5.1 Ohjausjärjestelmän rakenne

Ohjausjärjestelmän turvatoimintojen aikaansaamiseksi tarvitaan suuri joukko komponentteja ja osajärjestelmiä. Komponenttien ketju alkaa turvalaitteiden antureista ja päättyy koneen toimilaitteisiin kuten moottoreihin ja sylintereihin vaikuttaviin tehonohjauseliimiin, tavallisesti kontaktoreihin ja venttiileihin. Lisäksi voi järjestelmässä olla jarruja ja salpoja koneen tai sen osien liikkumattomuuden varmistamiseksi. Ohjausjärjestelmään kuuluu myös valvontaa vikaantumisten havaitsemiseen. (Siirilä 2009, 55 - 59.)

Ohjausjärjestelmään kytketyt avattavat suojukset, valoverhot ja muut turvalaitteet ovat järjestelmään signaaleja antavia antureita (kuva 17). Myös käsin ja joskus jalalla tai muulla kehon osalla käytettävät käynnistys- ja pysäytyspainikkeet ovat vastaavanlaisia antureita. Tämän lisäksi koneessa voi olla myös muita ominaisuuksia mittaavia antureita, esimerkiksi lämpötilaa, pyörimisnopeutta ja painetta mittaavia antureita. (Siirilä 2009, 59 - 62.)



KUVA 17. Turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän komponentteja (Siirilä 2009, 93).

13.5.2 Ohjausjärjestelmän tiedonsiirto

Turvalaitteelta tai muulta anturilta saatu oikea tieto on siirrettävä oikein ohjausjärjestelmään. Tieto on käsiteltävä ohjausjärjestelmässä oikein ja lähetettävä oikeat käskyt tehonohjauselimille tai muille tarpeellisille ohjausjärjestelmän komponenteille. (Siirilä 2009, 94.)

Turvalaitteen antureilta tulevan tiedon siirto johdetaan useimmiten kiinteästi langoitettuna ja turvareleillä valvottuna ohjausjärjestelmään. Oikein suunnitellussa ohjausjärjestelmässä tiedonsiirtojärjestelmän oikosulut, katkokset ja muut viat yleensä paljastuvat. (Siirilä 2009, 94.)

Pienien koneiden tiedonsiirto on yksinkertaista ja välitöntä. Esimerkiksi jousella 0 -asentoon palautuvan hallintalaitteen seurauksena kontaktorin koskettivat avautuvat ja koneen moottori pysähtyy. Suurissa konejärjestelmissä suuret tietomäärät siirretään kiinteää langoitusta pitkin satoja metrejä ja joskus pidempiäkin matkoja, mikä aiheuttaa viivettä tiedonsiirrossa. (Siirilä 2009, 94.)

Ohjausjärjestelmässä syntyvät käskyt ohjataan tehonohjauselimille, kelakytkimille, kontaktoreille ja konekäyttöisille venttiileille. Tehonohjauselimien tehtävänä on ohjata ja säätää sähkön, paineen tai muun energian pääsyä moottoreihin, painesylintereihin tai muihin koneen liikkeitä synnyttäviin toimilaitteisiin. Turvallisuuteen liittyvillä käskyillä saadaan aikaan tehon syötön katkaiseminen. Pysähtymisen toteuttamiseen tai sen varmistamiseen liittyy usein jarrujen, salpojen tai muiden mekaanisten pidätinlaitteiden toiminta. Antureiden ohella myös tehonohjauselimet ovat tavallisesti vikaantuvia komponentteja. Turvallisuuden varmistamiseksi tehonohjauselimien luotettavuutta on pyrittävä parantamaan. Lisäksi ohjausjärjestelmä tulee suunnitella siten, että turvatoiminnon toteuttaminen on mahdollista tehonohjauselimien vikaantuessakin. Useimmiten tämä tarkoittaa tehonohjauselimien kahdentamista. (Siirilä 2009, 95.)

13.5.3 Koneen toimilaitteet

Koneturvallisuusstandardeissa koneen toimilaitteilla tarkoitetaan koneen liikkeitä aikaansaavia osia, kuten moottoreita, painesylintereitä ja niiden mäntiä. Viimeisenä vaiheena turvatoiminnoissa on yleensä liikkeiden pysäyttäminen tai koneen saattaminen muuten turvalliseen tilaan. Sähkömoottoreiden pysäytys tapahtuu usein hidastamalla tai sähköisesti jarruttamalla nopean ja hallitun pysähtymisen aikaansaamiseksi. Liikkeen pysähdyttyä kontaktori tai muu vastaava kytkin avautuu, jolloin moottori on erotettu energiansyötöstä. Luotettavan pysäytyksen jälkeen on varmistettava liikkuvien osien paikallaan pysyminen. Luotettavia jarruja, mekaanisia salpoja tai muita vastaavia ratkaisuja tarvitaan silloin jos voimansiirron välitykset eivät riitä pitämään massoja paikallaan. (Siirilä 2009, 95 - 96.)

13.5.4 Koneiden ohjauksen tiedonsiirto

Kun anturi suorittaa oikein sille tarkoitetun tehtävän, esimerkiksi havaitsee vaara-aluetta lähestyvän ihmisen, synnyttää se lähtösignaalin, jonka tulee ohjautua oikein perille ohjausjärjestelmään. Anturista saatu tieto tulee ohjausjärjestelmään, josta tieto välitetään edelleen tehonohjauselimille. Anturin tieto tulee yleensä oikein perille kun käytetään perinteisiä johdotuksia ja valvontareleitä. Turvarele ilmoittaa osan vioista ja osa on oikein suunnitellussa järjestelmässä luonnostaan turvallisia; johtimen irtoaminen tai katkeaminen pysäyttää koneen.

Mekaanisilla releillä turvallisuus perustuu releen koskettimien toimimiseen ohjauspiirissä valvontapiirissä. Valvonta edellyttää releiden käyttöä, muutoin ne eivät voi paljastaa vikojaan. (Siirilä 2009, 117.)

Koneiden ohjauksessa viestien lähettäminen tapahtuu yleensä sarja- tai rinnakkaismuotoisena. Sarjaviestinnän suurimpana etuna voidaan pitää yksinkertaista johdotusta ja siitä johtuvien virhekytkentöjen vähäisyyttä. Sen käyttö edellyttää useimmiten ohjelmoitavaa järjestelmää, jonka turvallisuusluokittelu on usein haastavaa. Sarjamuotoisen viestinnän tiedonsiirto tapahtuu usein ei-turvallisten laitteiden kautta esimerkiksi elektroniikan. Tästä syystä niin lähetettävän kuin vastaanotettavankin tiedon oikeellisuus on varmistettava. (Siirilä 2009, 117 - 118.)

Turvallisuustarkoituksiin suunnitelluissa turvaväylissä riskit on otettu huomioon ja väylissä on tiettyjä ominaisuuksia niiden vähentämiseksi. Kaupalliset turvaväylät perustuvat standardiväyliin, joissa lisävarmistukset on toteutettu ylätasolla niiden vaikuttamatta perusviestintään. (Siirilä 2009, 118.)

Tiedon siirtäminen turvallisesti vaatii oikeaa tietoa ja sen siirtämistä taatussa vasteajassa. Koneen pysähtymisen vasteajan on oltava niin lyhyt kuin on mahdollista, jotta ihmisen yllättävä siirtyminen vaara-alueelle ei aiheuta vaaraa. Kokonaisvasteajan ollessa niin pitkä, että ihmisen siirtyminen vaara-alueelle voi tapahtua ennen koneen lopullista pysähtymistä, on ovelta tai vastaavassa avattavassa suojuksessa oltava lukinta. Vasta koneen pysähtyttyä suojuksen lukon saa avattua. (Siirilä 2009, 118.)

Vasteaika on erityisen tärkeä valoverhoja tai muita vastaavia turvalaitteita käytettäessä, jolloin vaarakohdan ja muun ympäristön välissä ei ole fyysistä estettä. Turvalaite tulee asentaa niin etäälle, että standardin SFS-EN 999 määrittämät vähimmäisetäisyysvaatimukset täyttyvät pisimmälläkin vasteajalla. (Siirilä 2009, 119.)

Väylä- ja verkostotyypeistä riippuen tiedonsiirtoon vaadittava aika voi vaihdella huomattavasti. Aikaa on myös mahdoton laskea tarkasti, koska siihen vaikuttaa verkon kuormitus. Aina tulee kuitenkin varmistaa, että turvallisuuteen liittyvä tieto siirretään ja käsitellään taatussa vasteajassa. Ohjelmoitavasta järjestelmästä riippuen tiedon käsittelyyn vaadittava aika voi vaihdella 5 - 100

millisekuntiin. Jos käytettävä turvalaite on valoverho, 100 ms lisäys vasteaikaan tarkoittaa, että valoverho on sijoitettava 200 mm kauemmaksi vaarakohdasta. (Siirilä 2009, 119.)

13.6 Robotin käynnistyminen ja pysähtyminen

13.6.1 Käynnistyminen

Koneasetus (400/2008) määrää käynnistymisestä seuraavaa:

- Koneen käynnistäminen saa olla mahdollista vain siten, että vaikutetaan tarkoituksellisesti asianomaiseen ohjauslaitteeseen.
- Sama vaatimus koskee uudelleen käynnistymistä pysähdysten jälkeen, oli sen syy mikä tahansa, ja toimintaolosuhteiden huomattavaa muuttumista.
- Jos käynnistäminen ja pysäyttäminen on suoritettava turvallisuuden vuoksi tietyssä järjestyksessä, on tätä varten oltava olemassa erityisiä lisälaitteita. (Siirilä 2009, 259.)

Koneen käynnistäminen ei ole itsessään turvatoiminto. Käynnistysuunnittelu on kuitenkin tärkeää, sillä huonosti toteutettuna käynnistystoiminto tekee koneesta vaarallisen. Kone saa käynnistyä vain kun käyttäjä sen tarkoituksenmukaisesti käynnistää. Käynnistymisen tavan, nopeuden ja suunnan on oltava sellainen kuin käyttäjä odottaa. (Siirilä 2009, 259 - 260.)

Käynnistykseen tarkoitettu käynnistyspainike tai muu hallintaelin on tarkoitettu vain koneen käynnistämiseen, eikä sillä saa olla muita toimintoja. Robotin käynnistyessä se tarkistaa itse itsensä ja siihen kytketyt oheislaitteet. Mikäli tarkistuksen yhteydessä ei ilmene virheitä robotti menee valmiustilaan. Mikäli käynnistuksen yhteydessä robotti havaitsee mekaanisia tai sähköisiä vikoja tai esimerkiksi avonaisen tai huonosti suljetun suojuksen, robotti ei käynnisty. Virheellisesti käynnistyksestä robotti ilmoittaa käsiohjaimeen ja lisäksi virhe kirjautuu automaattisesti järjestelmään. (Siirilä 2009, 262 – 263, Standardi SFS-ISO 10218-1.)

13.6.2 Pysähtyminen

Koneasetus (400/2008) määrää pysäyttämistä seuraavaa:

Normaali pysäytys

- Koneessa on oltava ohjauslaite, jolla se voidaan pysäyttää turvallisesti.
- Koneen pysäytyslaitteen toiminnan on oltava ensisijainen käynnistyslaitteiden toimintaan nähden.
- Energiasyötön on katkettava koneen tai sen vaarallisten toimintojen pysähtyessä. (Siirilä 2009, 271 - 272.)

Toiminnallinen pysäytys

- Jos toiminnallisista syistä tarvitaan pysäytyslaitetta katkaisematta toimilaitteiden energiasyöttöä, pysäytystilaa on valvottava ja ylläpidettävä. (Siirilä 2009, 271 - 272.)

Hätäpysäytys

- Koneessa on oltava yksi tai useampi hätäpysäytyslaite, joilla todellinen tai uhkaava vaara saadaan torjuttua.
- Hätäpysäytystä käytettäessä on pysäytyskäskyn jäätävä voimaan hätäpysäytyslaitteen lukkiutumisen avulla kunnes se vapautetaan erityisellä toimenpiteellä.
- Hätäpysäytystoiminnon on oltava koko ajan saatavilla ja toimintakunnossa. (Siirilä 2009, 271 - 272.)

Pysäytys on normaali, kun kone pysäytetään sitä varten, että sillä työskentely lopetetaan tai keskeytetään. Normaalia pysäytystä varten on koneessa oltava erityinen pysäytyksen hallintaelin. Käsikoneilla hallintaelimenä voi toimia pakkokäyttöinen käyttökytkin. Yleensä pysäytyksen hallintaelin on kuitenkin erillinen painike. Normaalin käynnistyksen ja pysäytyksen hallintaelimenä ei voi olla hätäpysäytin tai pelkkä syötön erotuskytkin. (Siirilä 2009, 272.)

13.7 Työalueen eristäminen

Yksinkertaisin tapa toteuttaa vaara-alueen eristäminen on tehdä se aidalla. Aidalla eristettäessä vaara-alueelle pääsee vain aidassa olevien ovien kautta. Ovet on myös mahdollista korvata valopuomila, mikäli vaara-alueelle joudutaan menemään toistuvasti. Verkkoaita heikentää näkyvyyttä vaara-alueelle. Verkkoaita on myös mahdollista korvata osittain tai kokonaan läpinäkyvällä muovilla, jolloin koneen toimintaa voidaan seurata esteettä. Muovi on verkkoaitaa herkempi pölyyntymään ja likaantumaan. (Siirilä 2009, 323 - 386.)

Turva-aidat asennetaan alaosaan lattiaan. Kiinnityksen tulee riittävä, jotta aita ja siihen kiinnitetyt turvalaitteet pysyvät paikallaan. Aitaan ei saa jäädä kohtia joista on mahdollista ulottua vaara-alueelle. Turvamääräykset turva-aidan suhteen ovat yleensä konekohtaisia. (Siirilä 2009, 323 - 386.)

14 NÄYTTEEN ANALYSOINNIN AUTOMATISOINTI

14.1 Alkuseelvitys

Ensimmäisessä vaiheessa tulee selvittää kyseisen näytteenoton analysointiprosessiin rakenteeltaan sopivin robottivaihtoehto. Rakenteen valintaan vaikuttavat useat eri tekijät, jotka muodostavat valinnalle reunaehdot. Toimintaympäristö asettaa omat vaatimuksensa rakenteen osalta geometrisesti mutta myös ilman lämpötilan ja puhtauden osalta. Robotin tulee olla rakenteeltaan sellainen, että se pystyy toimintaympäristössään käyttämään näytteen analysoinnissa vaadittavia oheislaitteita kuten vaakaa, uunia ja seulasarjaa. Robotin mekaniikan yksikön toiminnan puolesta ympäristön lämpötila ja puhtaus vaikuttaa osaltaan rakenteen valintaan.

Oleellinen osa robotin toiminnan kannalta on robotin työkalu. Tässä tapauksessa työkaluna toimii tarttuoja, jolla robotti siirtää näyteastiaa vaa'an ja uuniin välillä ennen kuivatun näytteen asettamista seulontaa varten seulasarjaan. Robotin tulee punnita kuuteen fraktioon seulottu näyte fraktio kerrallaan samaisella tarttujalla tai vastaavasti vaihdettavalla työkalulla. Tarttujan valintaa ja mahdollisia näyteastiamuutoksia käsitellään työn myöhemmässä vaiheessa tarkemmin.

14.2 Robotin rakennevaihtoehdot

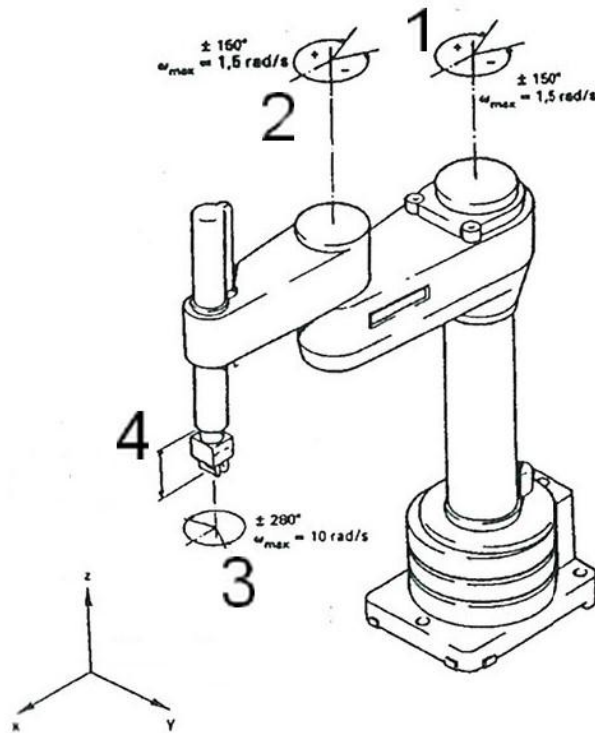
Nykyinen analysointimenetelmä suoritetaan manuaalisesti käsin, eikä nykyistä menetelmää ole tarkoitus muuttaa radikaalisti. Robotin tarkoituksena on käyttää oheislaitteina määräkokoön ositetun näytteen kuivauksessa vaadittavaa uunia ja kuivatun näytteen seulontaan tarkoitettua seulasarjaa, sekä vaakaa punnitsemiseen. Suurimmilta muutoksilta nykyistä menetelmää ajatellen säästyttäisiin, jos robotin rakenne vastaisi ihmisen käsivarren toimintaa. Tämä määrittäjä rajaa rakenteelliset vaihtoehdot pääasiassa kahteen perusrakenteeseen, SCARA -robottiin ja kiertyväniveliseen teollisuusrobottiin. Molemmat rakenteet jäljittelevät ihmisen käsivarren toimintaa pienin eroavaisuuksin.

Robottisolun rakenteelliset vaatimukset:

- Ilman epäpuhtaus, robotin rakenne tulee olla suljettu
- Oheislaitteet (vaaka, uuni, seulasarja, näyteastiat)
- Robotin ulottuma (arvio) 1,5 m
- Toimintaympäristön geometria
- Toimintalämpötila
- Työkalu- ja tarttuja
- Vaadittavat turvallisuusstandardit (mm. robottisolun aitaus, valoverho, turvarajakytkimet)
- Ympäri vuorokautinen toiminta eli luotettavuus
- Ihmisen käsivartta ja liikettä muistuttava rakenne
- Käsiteltävä kuorma (arvio) max. 6 kg (tarttuja, näyteastia, kivihiilinäyte).

14.2.1 SCARA-robotti

SCARA-robotin toiminta vastaa ihmisen vaakatasossa liikkuvaa käsivartta, mutta ranteeseen on asennettu pystyjohde. SCARA -robotti on tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsivarsi. Rinnakkaisten akseliensa vuoksi käsivarsi antaa hieman myöten XY -suunnassa, mutta on puolestaan jäykkä Z-suunnassa. Kuvassa 11 on esitetty perinteinen SCARA -robottirakenne, jossa kohdat 1 - 2 ovat kiertymäkulmaltaan $\pm 150^\circ$, kolmas kiertyvänivel on puolestaan $\pm 280^\circ$ ja neljäs kuvaa lineaarista pystyliikettä työtason normaalin suuntaisesti. (Kuivanen 1999, 16 - 17)

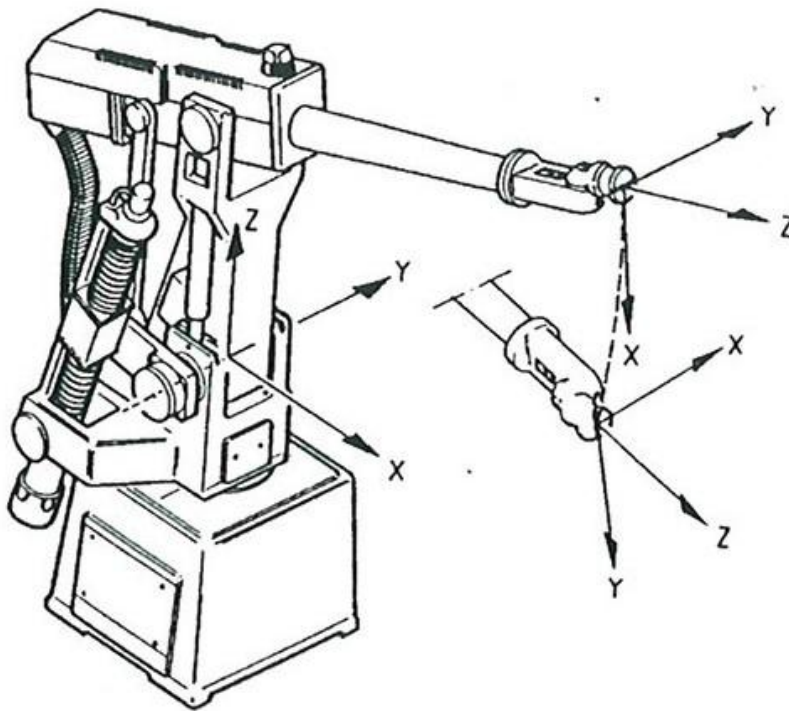


KUVA 18. SCARA-robotti (Kuivanen 1999, 17).

SCARA-robotit (kuva 18) toimivat yleisimmin erilaisissa kokoonpanotehtävissä. Tällöin robotilta vaadittava liike tapahtuu kiertyvien nivelien avulla työtasolla vaakatasossa oikeaan kohtaan ja lopullinen kappaleen asettaminen suoritetaan lineaarisella pystyliikkeellä. Määräkokoon ositetun näytteen analysoinnissa vaaditaan robotilta näytteen asettamista uuniin sivulta syöttäen. SCARA -robotin mekaanisen rakenteen ja työkalun liikkuvuuden puitteissa näytteen asettaminen sivulta uuniin syöttäessä olisi vaikeasti toteutettavissa tai kokonaan mahdotonta. SCARA -robotit ovat työkalun ulottuvuudeltaan kiertyvänivelistä robottia rajallisempia. KUKA Robotics:n ja Motoman:n valmistamien SCARA -robottien suurimmat ulottuvuudet ovat 850 mm, mikä tekisi robottisolun oheislaitteiden sijoittelusta haastavaa. Edellä mainittujen rakenteellisten rajoitusten johdosta SCARA -robottirakenne ei ole soveltuva näytteen analysointiin.

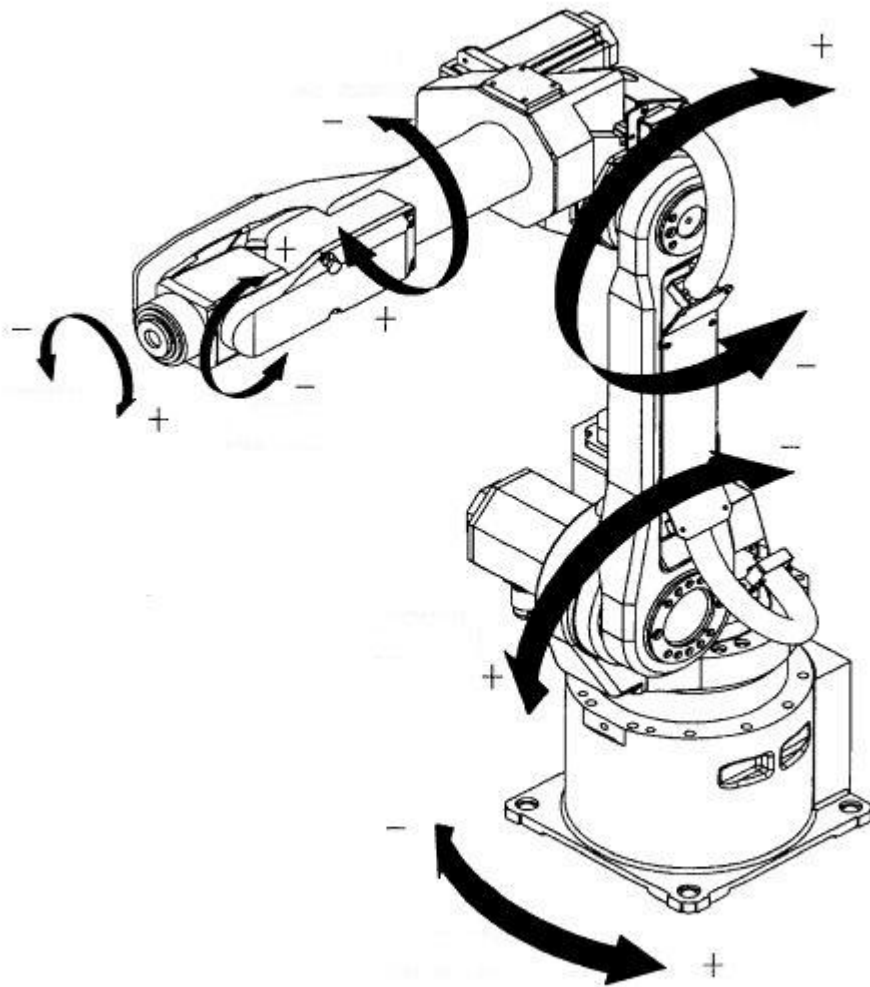
14.2.2 Kiertyvänivelinen robotti

Kahdesta lähinnä ihmisen käsivartta muistuttavasta rakenteesta kiertyvänivelinen robottirakenne (kuva 19) vastaa parhaiten näytteen analysoinnissa vaadittavia tarpeita. Kuuden vapausasteen johdosta kiertyvänivelisen robotin työkalu voidaan asettaa työalueella mihin tahansa asentoon ja paikkaan.



KUVA 19. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti (Kuivanen 1999, 17).

Kuusi vapausastetta (kuva 20) voi mahdollistaa jopa nykyisten jo olemassa olevien oheislaitteiden käytön näytteen analysoinnissa robotilla. Toimintaympäristön asettamien geometristen vaatimusten puitteissa kiertyvänivelisen robotin vaatima lattiatila on vähäinen. Ilman epäpuhtaudesta johtuva suljettu rakenne on mahdollista toteuttaa myös jälkikäteen asennettavalla suojapeitteellä. Tästä huolimatta robotti pystyy suorittamaan kaikki sille vaadittavat toimenpiteet. Kiertyvänivelinen robotti on yleisin teollisuudessa toimivia robottirakenne. Rakennevalmistajia on siis useita ja tarjolla on laaja kirjo eri ulottuvuuden, käsittelykapasiteetin ja käyttötarkoituksen omaavia malleja.



KUVA 20. Kuusiakselin robotin nivelten liikeradat (Fanuc robot, hakupäivä 17.4.2013).

14.3 Robottivalmistajien vaihtoehdot

Kiertyvänivelisen robotin ollessa yleisin robottirakenne tarjolla on useita eri malleja usealta eri valmistajilta. Työn ollessa esiselvitys, on robottivalmistajatärkevintä rajata karkeasti markkinoiden suurimpiin valmistajiin ABB:hen, KUKA Roboticsin ja Motomanin. Kaikilla kolmella valmistajalla on tarjota näytteen analysointiin kuorman kantokyvyltä ja ulottuvuudelta useampia vaihtoehtoja. Oleellinen osa valinnan kannalta on myös ilman epäpuhtauden vaikutus manipulaattorin ja ohjausjärjestelmän suojaukseen.

Lähtökohtana valmistajien tarjoamia vaihtoehtoja katsastaessa ABB on ennakkoasetelmissa vahvin vaihtoehto. Raahan terästehtaan koksaamolaitoksella on jo olemassa olevia huoltosopimuksia ABB:n kanssa, joten tulevaisuudessa hankittavan robotin tuki ja huolto voidaan laajentaa helposti myös robottia koskevaksi. Kuitenkin on tärkeää tarkastella myös muiden valmistajien tarjoamia vaihtoehtoja. Näytteen analysoinnissa robotilta vaadittava kappaleenkäsittelykapasiteetti ja ulottuma on määritelty aikaisemmin.

14.3.1 ABB

Tarjolla oleva valikoima kiertyvänivelisistä teollisuusroboteista on varsin laaja. Näytteen analysoinnin kappaleenkäsittelykapasiteettiin ja ulottumaan sopivia vaihtoehtoja on useampia.

ABB IRB 1410-robotin tärkeimmät tekniset tiedot:

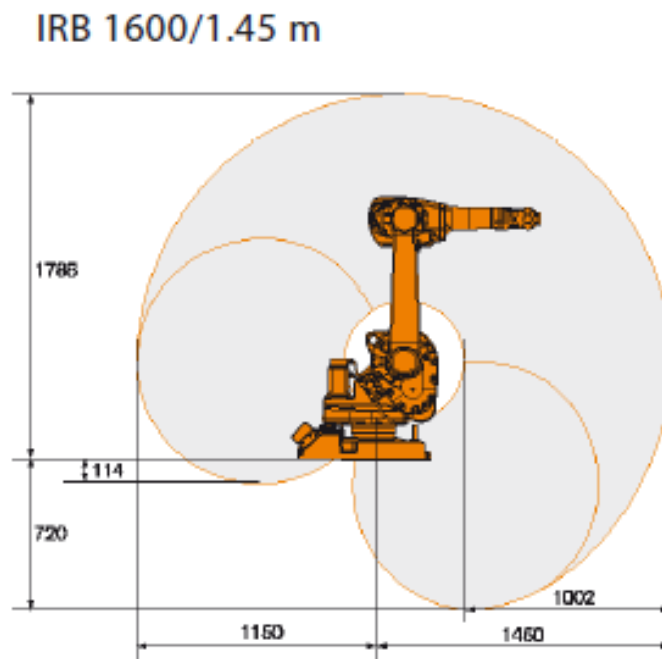
- Akselien lukumäärä 6
- Käsittelykapasiteetti 5 kg
- Ulottuma 1.44 m
- Paino 225 kg

ABB IRB 1600-6/1.45-robotin tärkeimmät tekniset tiedot, rakennekuva (kuva 21) ja työalue (kuva 22):

- Akselien lukumäärä 6
- Käsittelykapasiteetti 6 kg
- Ulottuma 1.45 m
- Paino 250 kg



KUVA 21. ABB IRB 1600 (ABB Oy, hakupäivä 4.4.2013).



KUVA 22. ABB IRB 1600:n työalue (ABB Oy, hakupäivä 4.4.2013).

14.3.2 KUKA Robotics

Saksalaisen KUKA Roboticsin vaihtoehdot ovat niin käsittelykapasiteetin kuin ulottumankin puolesta hyvin lähellä ABB:n tarjoamia vaihtoehtoja.

KUKA KR 6-2-robotin tärkeimmät tekniset tiedot:

- Akselien lukumäärä 6
- Käsittelykapasiteetti 6kg
- Ulottuma 1.61m
- Paino 235kg

KUKA KR 16 L6-2 tärkeimmät tekniset tiedot ja rakennekuva (kuva 23):

- Akselien lukumäärä 6
- Käsittelykapasiteetti 6kg
- Ulottuma 1.91m
- Paino 240kg



KUVA 23. KUKA KR 16 L6-2 (KUKA Robotics Oy, hakupäivä 4.4.2013).

14.3.3 Motoman

HP20D-6-robotin tärkeimmät tekniset tiedot ja rakennekuva (kuva 24):

- Akselien lukumäärä 6
- Käsittelykapasiteetti 6kg
- Ulottuma 1.91m
- Paino 273kg

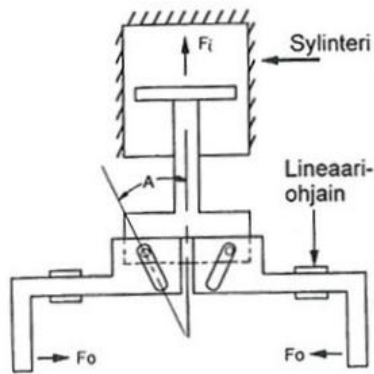


KUVA 24. Motoman HP20D-6 (Yaskawa Europe GmbH, hakupäivä 4.4.2013).

14.4 Tarrainvaihtoehdot

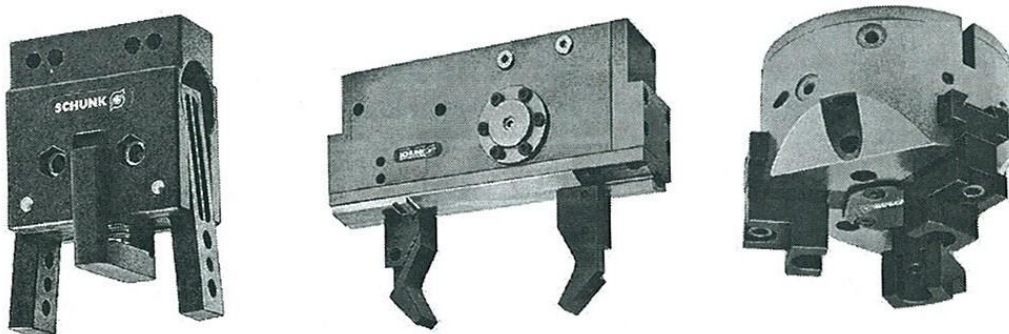
Määräkokoon ositetun näytteen analysoinnissa käsiteltävät näyteastiat määrittävät robotin työkalulla vaatimukset. Nykyisin käytettäviä näyteastioita ei ole mahdollista käyttää robotilla tulevaisuudessa ilman suurempia muutoksia. Järkevin vaihtoehto on tehdä täysin uudet näyteastiat lopullisen tarrainrakenteen ja mekanismin pohjalta. Näyteastioiden muotoon ja kokoon vaikuttaa myös näytteen kuivauksessa käytettävä kuivausuuni.

Käytettävien näyteastioiden pintaan kertyy toimintaympäristön ilman epäpuhtauden johdosta kivihiilestä irtoavaa hiilipölyä. Tämän perusteella tarrain vaihtoehtoista voidaan sulkea pois magneetti- ja imutarraimet. Mekaaninen tarrain on rakenteellisesti sopivin vaihtoehto tässä tapauksessa. Tarraimelle on olemassa useita erilaisia mekanismeja (Liite 1). Robottivalmistajien omat vakiotarraimet ja useat kaupalliset tarraimet toimivat kartioliukujohde periaatteen mukaisesti, joissa on lineaarinen liike ja rajoitettu liikealue (kuva 25).



KUVA 25. Kartioliukujohde tarrain (Kuivanen 1999, 62).

Näytteen analysointiin sopivin tarrainvaihtoehto kannattaa suunnitella tiiviisti käytettävien näyteastioiden kanssa. Markkinoilta löytyviä vakiotarraimia (kuva 26) on kannattavaa käyttää perusrakenteena suunnittelussa, jolloin saadaan yleensä pienin rakenteellisin muutoksin tilanteeseen sopiva tarrain.



KUVA 26. Schunk-vakiotarraimia (Kuivanen 1999, 64).

14.4.1 Gimatic

Gimatic Spa on yksi markkinoiden suurimmista tarraintoimittajista. Gimatic toimittaa tarraimia niin raskaaseen kuin kevyempäänkin käyttöön. Tarraimet on jaettu kahteen ryhmään, kappaleenkäsittely- ja muovitarraimiin. Tarjolla on myös sähköisiä tarraimia silloin kuin paineilman käyttö ei ole mahdollista. Gimatic:n lineaari- ja saksitarrain valikoimassa on useita näytteen analysointiin sopivia tarrainvaihtoehtoja. Tarraimet ovat kevytrakenteisia, jolloin ne eivät itsessään syö robotin käsittelykapasiteettia ratkaisevasti. Seuraavassa muutamia Gimatic:n tarrainvaihtoehtoja. (Oy Scalar Ltd, hakupäivä 17.4.2013.)

Gimatic GW-16 saksitarra ja sen tärkeimmät tekniset tiedot, sekä rakennekuva (kuva 27):

- Käyttöenergia: paineilma
- Paino: 88 g
- Puristusvoima (6bar): 72 Ncm



KUVA 27. Gimatic GW-16, saksitarra (Gimatic S.p.A, hakupäivä 17.4.2013).

Gimatic MGX2005 lineaaritarra ja sen tärkeimmät tekniset tiedot, sekä rakennekuva (kuva 28):

- Käyttöenergia: paineilma
- Paino: 95g
- Puristusvoima (6bar): 180 N



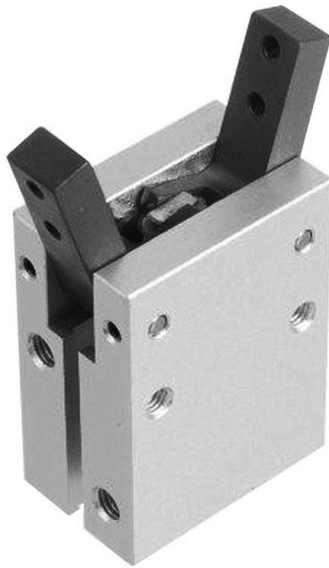
KUVA 28. Gimatic MGX2005, lineaaritarra (Gimatic S.p.A, hakupäivä 17.4.2013).

14.4.2 Fipa

Fipa GmbH on erikoistunut pääasiassa erilaisiin alipainetarraimiin. Lisäksi on laaja valikoima EOAT -tarraimia. EOAT -tarraimavalikoimasta löytyy lineaari- ja saksitarraimia sekä sormitarttuvia. EOAT -valikoimassa on lisäksi asiakkaan määritysten mukaan täydellisiä tarraimsovelluksia avaimet-käteän periaatteella. (Oy Scalar Ltd, hakupäivä 17.4.2013).

Fipa GR04.123 – 20 saksitarraim ja sen tärkeimmät tekniset tiedot, sekä rakennekuva (kuva 29):

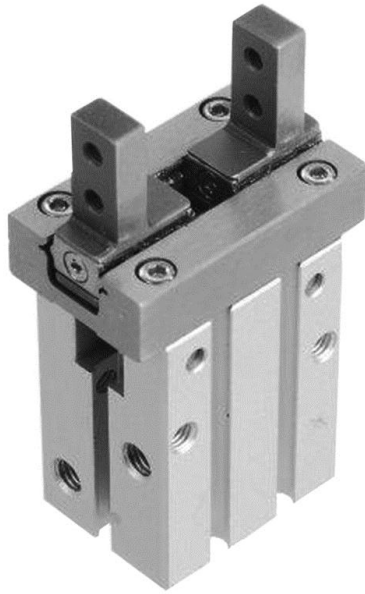
- Käyttöenergia: paineilma
- Paino: 200 g
- Puristusvoima (6bar): 100 Ncm



KUVA 29. Fipa GR04.123 - 20, saksitarraim (Fipa GmbH, hakupäivä 17.4.2013).

Fipa GR04.122 – 25 lineaaritarraim ja sen tekniset tiedot, sekä rakennekuva (kuva 30):

- Käyttöenergia: paineilma
- Paino: 365 g
- Puristusvoima (6bar): 105 N



KUVA 30. Fipa GR04.122 - 25, lineaaritarrain (Fipa GmbH, hakupäivä 17.4.2013).

Fipa GR04.131A sormitarrain ja sen tekniset tiedot, sekä rakennekuva (kuva 31):

- Käyttöenergia: paineilma
- Paino: 124 g
- Puristusvoima (6bar): 95 N



KUVA 31. Fipa GR04.131A, sormitarrain (Fipa GmbH, hakupäivä 17.4.2013).

Gimatic:n ja Fipa:n tarrainvalikoimista listatut tarraimet ovat pieniä tai keskisuuria tarraimia niin painoltaan kuin puristusvoimaltaankin. Tartuntaleukoja ja -pintoja on mahdollista mukauttaa omien tarpeiden mukaan ja komponenttien joukosta löytyy erilaisia kumi/muovi -pintoja ja eri pituuksilla olevia tartuntaleukoja.

14.5 Näyteastiat

Nykyisin käytössä olevat näyteastiat (kuva 32) on suunniteltu ja valmistettu manuaalista näytteen analysointia varten sekä nykyistä kuivausuunia ajatellen.



KUVA 32. Nykyisin käytettävä näyteastia

Näyteastioiden suunnittelu tulee toteuttaa tiiviisti robotin työkalun eli tarraimen suunnittelun yhteydessä. Näin ollen tarraimen ja näyteastian yhteensopivuus niin kuormituksen kuin tartuntapintojenkin osalta saadaan mahdollisimman toimivaksi ja luotettavaksi. Näyteastioiden tulisi olla mahdollisimman kevytrakenteisia, jolloin ne eivät itsessään vähentäisi robotin hyötykuormaa. Lisäksi näyteastioiden suunnittelussa tulee huomioida niiden yhteensopivuus käytettävien oheislaitteiden (kuivausuuni, vaaka) kanssa.

14.6 Oheislaitteet

Nykyisessä määräkokoon ositetun näytteen manuaalisessa analysoinnissa käytettävät oheislaitteet eivät sovellu robottijärjestelmän oheislaitteiksi. Oheislaitteisiin vaaditaan joko suuria muutoksia tai ne on korvattava uusilla sovellukseen sopivilla laitteilla.

14.6.1 Kuivausuuni

Kuivausuunina toimii Ehretin valmistama uuni (kuva 33). Uuni on alkuperäinen näytteen analysoinnissa, mutta edelleen täysin toimiva manuaalista näytteen analysointia ajatellen. Vanhan uunin ongelma on sen sijoittaminen robottijärjestelmän oheislaitteeksi kokonsa ja käytettävyytensä puolesta. Uunin uusiminen jo pelkästään ikänsäkin puolesta olisi varmasti kannattavaa.



KUVA 33. Nykyinen kuivausuuni

Uuden uunin hankinnassa tulee miettiä sen soveltuvuutta robottijärjestelmän oheislaitteeksi. Robotin päätehtävinä on asettaa näyte uuniin ja poistaa näyte uunista kuivauksen päätyttyä. Mahdollisia lisätehtäviä näytteen kuivauksessa ovat kuivausuunin oven aukaisut ja sulkemiset.

Tulisiko robotin pystyä avaamaan uunin ovi työkalua eli tarrainta käyttäen vai voidaanko uunin oven aukaisu suorittaa jollain muulla tapaa. Uunin oven aukaisu olisi mahdollista suorittaa näytteen analysoinnin aikaan perustuen. Esimerkkinä, kun analysoitava näyte saapuu robotille, uuni ovi aukeaisi tiettyä ajankohtana näytteen saapumisesta, jonka jälkeen robotti asettaisi näytteen uuniin. Vaaditun kuivausajan jälkeen uunin ovi avautuisi automaattisesti ja tästä välitettäisiin tieto robotille, jolloin robotti poimisi näytteen uunista punnitusta varten.

14.6.2 Seulasarja

Nykyisin toimiva seulasarja on Fritschin valmistava kuuteen fraktioon jaettu seula (kuva 35). Myös seulasarja on alkuperäinen näytteen analysoinnissa ja on rakenteeltaan varsin raskas. Seulonnasta johtuvan värinän vuoksi on jalustassa jouduttu käyttämään lisäpainoja seulan paikallaan pitämiseksi sen toiminnan aikana. Fraktioiden puhdistus on myös yksi ongelma, sillä fraktioihin on jäänyt jäämiä aikaisemmista seulonta kerroista, mikä vaikuttaa fraktioita punnittaessa virheellisesti raekokojakauman analysointiin.



KUVA 34. Nykyinen seulasarja

Seulasarjan yhtenä ongelmana on sen fraktioiden kiinnitys seulonnan ajaksi ja sen toteuttaminen robotin työkalun avulla. Useissa seulasarjoissa kiinnittäminen tapahtuu käsin pyöritettävillä ruuvikiinnittimillä. Kiinnityksen toteuttaminen robottijärjestelmään sopivaksi on haastava osa seulasarjaa suunniteltaessa. Robotin tulee myös punnitta kuudesta fraktiosta jokainen fraktio erikseen ja tätä varten fraktioissa tulee olla robotin tarrainta varten tartuntapinta. Seulonnan ja punnituksen jälkeen seulan fraktiot tulee puhdistaa seuraavaa punnitusta varten. Fraktioiden pudistus on mahdollista toteuttaa esimerkiksi paineilmaa apuna käyttäen. Fraktioita tulisi myös punnita tyhjänä tasaisin väliajoin, jolloin voidaan havaita jos fraktiossa on jäänteitä aikaisemmista seulonnoista.

14.6.3 Vaaka

Nykyisin käytössä olevalta vaa'alta (kuva 36) määräkokoan ositetun näytteen paino luetaan ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen vaa'an näytöltä ja tulos syötetään manuaalisesti level2-järjestelmään. Näytteen kosteus saadaan näistä kahdesta punnitustuloksesta level2-järjestelmässä.



KUVA 35. Nykyinen vaaka

Punnitustiedon siirtäminen level2-järjestelmään vaa'alta tulee tapahtua automaattisesti aina punnitustapahtuman jälkeen. Näin ollen nykyisin käytettävissä oleva vaaka ei sovellu tulevaisuudessa robotilla käytettäväksi.

Robotin ja oheislaitteiden yhteensopivuus määrittävät koko robottijärjestelmän toimivuuden. Robotin tulee pystyä käyttämään sille vaadittuja oheislaitteita niin, että näytteen analysoinnista saadaan luotettava aina saman kaavan mukaisesti toistuva toiminta. Oheislaitteiden tulee olla laadultaan ylempää keskiluokkaa.

14.6 Tiedonsiirtoliitännät

Määräkokoon ositetun näytteen analysoinnissa tiedonsiirtoa tulee tapahtua level2 -järjestelmään. Vaa'alta tiedonsiirron tulisi tapahtua suoraan punnituksen jälkeen järjestelmään. Toinen mahdollinen vaihtoehto punnituksien osalta on robotin työkalussa tapahtuva punnitus, jolloin tiedonsiirto tapahtuisi robotin tiedonsiirtoliitännän kautta level2-järjestelmään. Tiedonsiirto tapahtuisi nykyaikaisen ethernet -liitännän kautta. Tiedonsiirto on mahdollista toteuttaa robottivalmistajien tarjoamilla tiedonsiirtoliityntäoptioilla, esimerkiksi ABB:n RS 232 ja RS 442 -liityntöjä käyttäen.

14.7 Ohjelmointi

Ohjelmointi voidaan tehdä käsiohjainta käyttäen, mutta tällöin ohjelmoiminen on varsin hidasta ja aikaa vievää. Robotin ohjelmointi on järkevintä suorittaa tietokoneella käyttäen ohjelmointityökalua. Käsiohjainta voidaan käyttää ohjelman tarkistamiseen testauksessa ja tällä voidaan suorittaa korjauksia testauksen aikana ohjelmassa esiintyviin virheisiin. Etäohjelmoinnin käyttö on myös mahdollista, mutta tätä tapaa käytetään yleensä jo tuotannossa oleville roboteille, jolloin tuotanto ei häiriinny ohjelman ajon ja simuloinnin aikana.

Ensimmäiseksi tulee kumminkin määritellä robotin käyttämä työkalu, oheislaitteiden käyttö, työalue ja työkohteet tarkasti. Toiminnan kannalta tärkeää on oheislaitteiden sijoittelu, jotta robotin on mahdollista käyttää uunia, vaakaa ja seulasarjaa ilman turhia ylimääräisiä liikkeitä. Tämän jälkeen voidaan aloittaa itse ohjelmointi. Ohjelmoinnin rakenne tulee miettiä huolellisesti. Ohjelma on syytä jakaa useampaan eri aliohjelmaan tai usein toistuvat toiminnot on kannattavaa tehdä omiksi ohjelmiksi. Esimerkiksi määräkokoon ositetun näytteen tarkka punnitseminen ja uuniin siirto kuivausta varten on hyvä tehdä omaksi työohjelmaksi ja lisäksi eri tietojen lähettäminen level2-järjestelmään voisi toimia omana ohjelmanaan. Yksittäisten työohjelmien uudelleen ohjelmointi ja korjaukset on näin ollen huomattavasti helpompaa suorittaa, ilman koko ohjelman läpikäymistä.

YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esiselvitys Raahen terästehtaan koksaamolaitoksen kivihiiliseoksen raekokojakauman ja kosteuden analysointia ja näytteenoton kehittämistä ja automatisointia varten. Näytteenoton kehittämiseksi ja automatisoinnille oli selkeä tarve, sillä nykyiselle manuaalisella näytteenotolla ei saada edustavaa kuvaa tuotannosta.

Tässä työssä esiselvitys kattaa hyvin teollisuusrobottien perusrakenteet, joista sopivin rakenne valittiin kivihiiliseosnäytteen analysointiprosessia varten. Työstä selviävät perusteet kivihiiliseosnäytteen analysoinnin automatisoinnille. Robotin rakenteellisia ja toiminnallisia vaatimuksia tutkittiin rakennevalinnan yhteydessä.

Näytteen analysoinnin automatisoinnin onnistumisen kannalta yksi ratkaisevimmista robottisolun suunnittelun vaiheista on robotin työkalun eli tarttujan valinta. Tarraimen suunnittelusta kerrottiin teoriaa ja käytännön vaihtoehtoja. Työssä käydään läpi kaikki yleisimmät tarraintyyppit. Tarraimen valinnan jälkeen käydään läpi kyseisen tarraintyyppin eri valmistajien tarjoamia vaihtoehtoja.

Oheislaitteista työssä kuvataan nykyiset käytössä olevat oheislaitteet ja niiden yhteensopivuus robottijärjestelmään. Työssä on esitetty ehdotuksia oheislaitteiden rakenteista ja niiden toiminnasta ajatellen robottijärjestelmää. Tiedonsiirtoliittynöille ja ohjelmoinnille on esitetty peruseräpäätteet ja ratkaisut.

Opinnäytetyön aihe oli haastava teollisuusroboteilla suoritettavan automatisoinnin kannalta Raahen terästehtaalta ja koksaamolaitoksella, sillä aikaisempaa kokemusta ei ollut. Työn tiedon haku oli laajaa, ja työssä jouduttiin tutkimaan paljon robottijärjestelmien yleistä toimintaa. Lähteinä käytettiin paljon alan kirjallisuutta, verkkolähteitä ja teollisuusrobottivalmistajien tietoja.

Työ antaa mielestäni perusteet robottijärjestelmän tarkempaa suunnittelua kivihiiliseosnäytteen analysoinnin automatisointia varten. Opinnäytetyössä esitetyt ratkaisut robottijärjestelmän toteuttamista varten ovat mielestäni hyödyntämiskelpoisia, mutta vaativat tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa suunnittelua ennen lopullista laitehankintaa ja testausta.

LÄHTEET

Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY - Kirjapainoyksikkö.

ABB Oy. IRB 1600 data sheet document. Hakupäivä 4.4.2013.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/d14805db939b06d0c125778300722123/\\$file/IRB%201600%20PR10282%20EN_R5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/d14805db939b06d0c125778300722123/$file/IRB%201600%20PR10282%20EN_R5.pdf).

Fanuc robot Mechanical Unit Maintenance Manual, hakupäivä 17.4.2013.

FINAS S51/2000 Näytteenoton virhelähteet, luotettavuuden estimointi ja näytteenottoketjun optimointi. Hakupäivä 25.2.2013.

<http://www.mikes.fi/documents/upload/FINAS%20S51%202000%20%20Yleista%20s.pdf>.

Finlex, lainsäädäntö, Ajantasainen lainsäädäntö, vuosi 2004. 26.11.2004/1016. Hakupäivä 18.4.2013.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016#a1016-2004>.

Fipa GmbH, FIPA GR04, 2-finger angular gripper. Hakupäivä 17.4.2013.

<http://www.fipa.com//assets/web/pdfs/produkte/FIPA-GR04.123-2-finger-angular-gripper-EN.pdf>.

Fipa GmbH, FIPA GR04, 2-finger parallel gripper. Hakupäivä 17.4.2013.

<http://www.fipa.com//assets/web/pdfs/produkte/FIPA-GR04.122-2-finger-parallel-gripper-EN.pdf>.

Fipa GmbH, FIPA GR04, A-F grippers. Hakupäivä 17.4.2013.

<http://www.fipa.com//assets/web/pdfs/produkte/FIPA-GR04.131A-F-grippers-EN.pdf>.

Gimatic S.p.A, Pneumatic Grippers document. Hakupäivä 17.4.2012.

<http://www.gimatic.it/Gimatic/ProductsFiles/Catalogs/en/gw.pdf>.

Gimatic S.p.A, Pneumatic Grippers document. Hakupäivä 17.4.2012.

<http://www.gimatic.it/Gimatic/ProductsFiles/Catalogs/en/mgx.pdf>.

IFR International Federation of Robotics. Hakupäivä 18.3.2013. <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Tummavuoden kirjapaino.

KUKA Robotics Oy. Specification document KR 6. Hakupäivä 4.4.2013. http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_16_en.pdf.

Myllymäki, P. vanhempi kehitysinsinööri, koksamo, Ruukki Metals Oy. 2013 Haastattelut kevät 2013.

Oy Scalar Ltd. Hakupäivä 17.4.2013. <http://www.scalar.fi/>.

Rautaruukki Oyj. 2013. Tilinpäätöstiedote 2012. Hakupäivä 10.4.2013.
<http://www.ruukki.fi/Sijoittajat/Vuosikertomus-2012/Tilinpaaotos-2012>.

Ruukki.fi 2013. Tietoa yhtiöstä. Hakupäivä 24.1.2013. <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>.

Ruukki Metals 2011. Ruukki Metals yleisesitys Rautaruukki Oyj, koksamo, Raahen.

Ruukki Metals, Raahen terästehdas, prosessikaaviot. Rautaruukki Oyj, koksamo, Raahen.
Sisäinen materiaali.

Ruukki Metals 2007. Esittelymateriaali - Koksaamon prosessit, Rautaruukki Oyj, koksamo, Raahen. Sisäinen materiaali.

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus - Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. 2. uudistettu painos.
Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Suomen Standardoimisliitto. Standardi SFS-ISO 10218-1. Teollisuusrobotit.
Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Robotti. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Helsinki.

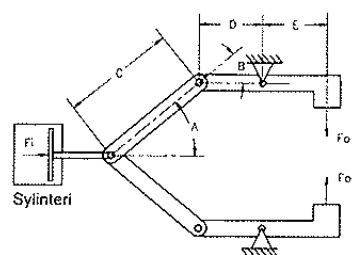
Teollisuusrobotti, artikkeli. 2013. Hakupäivä 18.3.2013.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti>.

Yaskawa Europe GmbH. Tuotteet/Robotit, HP20D-6. Hakupäivä 4.4.2013.

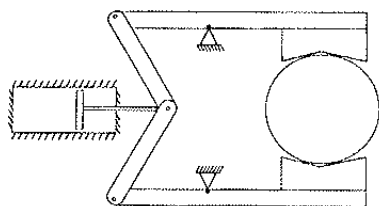
http://www.motoman.fi/fi/tuotteet/robotit/product-view/?tx_catalogrobot_pi1%5Buid%5D=982&cHash=691c4a52a88a963cc3e511644f0a493f.

LIITE 1

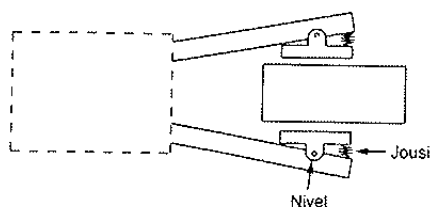


Sormien liike ei ole lineaarinen, sormet kiertyvät nivelpisteen ympäri. Puristusvoima riippuu nivelkulmista. Mekanismin kuolokohdat rajoittavat liikealuetta.

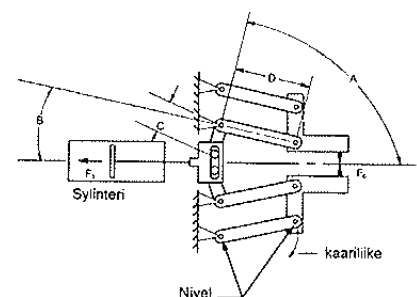
$$F_0 = \frac{F_1 D \sin B}{2 E \cos A}$$



Vipumekanismi voi olla myös sisäpuolinen, jolloin mekanismin koko pienenee. Muotoilemalla sormien kynnet V-prismaattisiksi saadaan sylinterimäisille kappaleille keskitys.

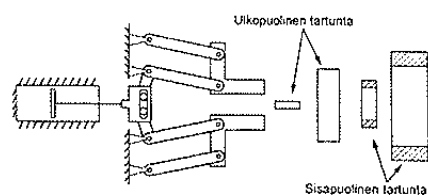


Kynsien laakerointi ja jousikuormitus. Kiertyvä-sormisten tarraimien kappaleen käsittelykykyä voidaan laajentaa suunnittelemalla nivel kynsien yhteyteen. Jousi esikuormittaa kynnet oikeaan asentoon.

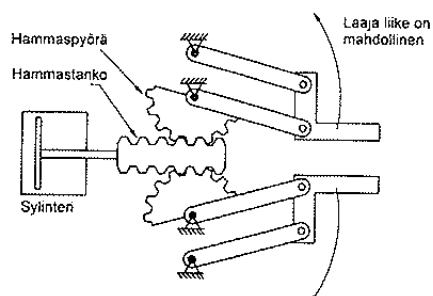


Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Sormet liikkuvat yhdensuuntaisesti, liike ei ole pelkkä lineaarinen, vaan laaja kaariliike. Erikokoisten kappaleiden etäisyys työkalulaipasta muuttuu.

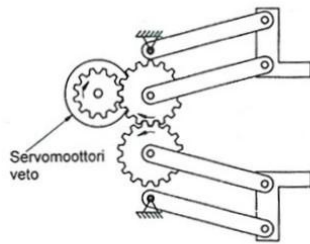
$$F_0 = \frac{F_1 C \sin A}{2 D \cos B}$$



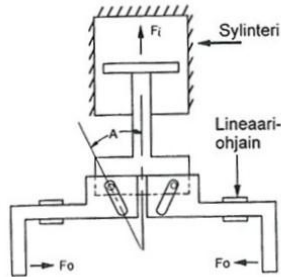
Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Kappaleisiin voidaan tarttua ulkopuolisella tai sisäpuolisella otteella.



Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Toimilaitteen ja käyttömekanismin valinnalla saadaan laaja tartunta-alue.

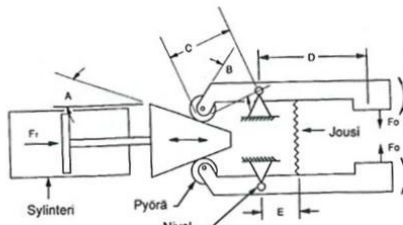


Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Servomootorilla saadaan hyvä säädettävyys.



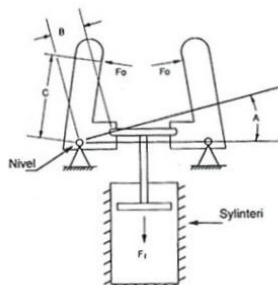
Kartioliukukohde. Lineaariliike, rajoitettu liikealue. Useat kaupalliset tarraimet toimivat tällä periaatteella.

$$F_0 = \frac{F_i}{2 \tan A}$$



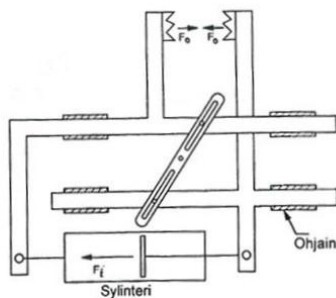
Kartionokkapyörämekanismi. Kuvan tapauksessa mekanismi tarvitsee puristusjousen (K = jousivakio, L_f = jousen lepopituus, L_0 = jousen pituus puristettuna).

$$F_0 = \frac{F_i C \sin B}{2 D \sin A} - \frac{E K (L_f - L_0)}{2 D}$$



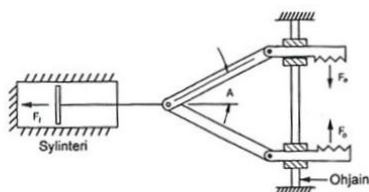
Perinteinen kulmatarrain. Suppea liikealue, mekanismi vaatii toimiakseen välystä.

$$F_0 = \frac{F_i B \cos A}{2 C}$$



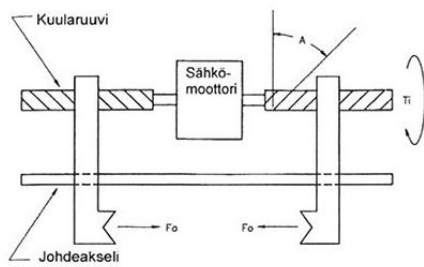
Lineaariliukukohde. Keskittävä mekanismi.

$$F_0 = F_i$$



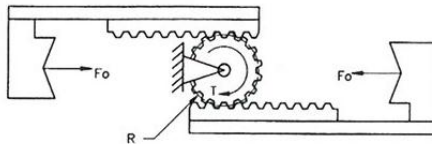
Kaksoisliukunivelmekanismi. Sormilla lineaariliike. Suppea liikealue, mekanismin kuolokohdat rajoittavat.

$$F_0 = \frac{F_i \tan A}{2}$$



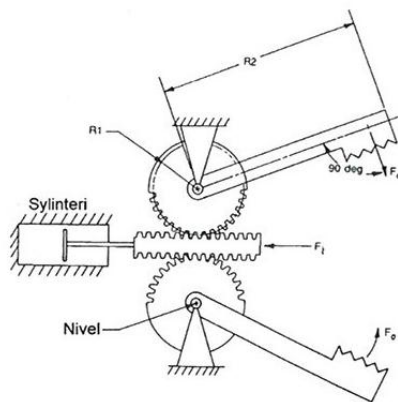
Kuularuuvikäyttö. Laaja lineaarinen liikealue rakennettavissa. Riippuen kuularuuvin nousukulmista, mekanismi on itsepidättyvä. Muistettava mekanismin kitkat.

$$F_0 = \frac{T}{2R \tan A} - F_r$$



Hammaspyörä ja hammastanko. Laaja käsittelyalue, sormilla lineaariliike.

$$F_0 = \frac{T}{2R}$$



Hammaspyörät. Laaja käsittelyalue, kiertyvät sormet.

$$F_0 = F_i \frac{R_i}{2R_2}$$

(Kuivanen, R. 1999.)